

21293
2.cop.

Cv 41 A + 61-4*

56043
2090

COLECCION AGROPECUARIA DE COLOMBIA

25 FEB. 1981

56043

**BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA**

PROCESO DE ELABORACION DE PANELA

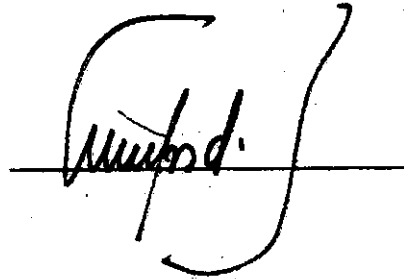
HUGO R. GARCIA B. Ingeniero Agrónomo
Programa Ingeniería de Procesos
Agropecuarios, División de Ingeniería
Agrícola.

FERNANDO MORENO P. Ingeniero Mecánico
M.S. Programa Ingeniería de Procesos
Agropecuarios, División de Ingeniería
Agrícola.

Bogotá
197?

TESIS APROBADA POR
COMITE CONSEJERO

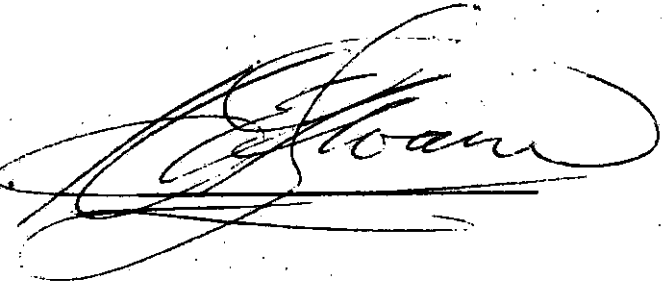
ALBERTO MONCADA BUENO · M.S.
Presidente de Tesis

Handwritten signature of Alberto Moncada Bueno in cursive, written over a horizontal line.

ARTHUR OWEN BARTLETT Ph.D.
Consejero

Handwritten signature of Arthur Owen Bartlett in cursive, written over a horizontal line.

HECTOR ALVAREZ GARCIA M.S.
Consejero

Handwritten signature of Hector Alvarez Garcia in cursive, written over a horizontal line.

21293

C O N T E N I D O

		pág.
1.	INTRODUCCION	1
2.	DESCRIPCION DEL PROCESO	3
2.1.	Molienda	3
2.1.1.	Tipos de Molinos	3
2.1.1.1.	Tracción Animal	3
2.1.1.2.	Tracción Mecánica	10
2.1.2.	Eficiencia de Funcionamiento de los Molinos	11
2.1.2.1.	Capacidad y Factores que la Determinan	13
2.1.2.1.1.	Preparación de la Caña	13
2.1.2.1.2.	Fibra de la Caña	14
2.1.2.1.3.	Velocidad y Diámetro de Mazas	14
2.1.2.1.4.	Longitud de Maza	15
2.1.2.1.5.	Ajuste entre Mazas	16
2.1.2.1.6.	Número de Mazas	16
2.1.2.2.	Extracción y Factores que la Determinan	17
2.1.2.2.1.	Preparación y Características de la Caña	17
2.1.2.2.2.	Presión de las Mazas sobre la Caña	18
2.1.2.2.3.	Imbibición	19
2.1.2.2.4.	Conceptos utilizados para medir eficiencia de Extracción	21
2.1.2.3.	Potencia y Factores que lo determinan	24
2.1.3.	Consideraciones para la selección del Molino	26
2.1.4.	Transmisión de Potencia por Correas	31

	pág.
2.1.4.1.	Materiales de las Correas 32
2.1.4.2.	Arco de Contacto 32
2.1.4.3.	Longitud de la Correa 33
2.1.4.4.	Factor de Servicio 35
2.1.4.5.	Potencia Transmitida por una Correa de Caucho 35
2.1.4.6.	Selección de Correa 37
2.2.	Clarificación, Evaporación y Concentración de los jugos 39
2.2.1.	Clarificación 40
2.2.1.1.	Composición de los no azúcares del Jugo 41
2.2.1.2.	Remoción de los no Azúcares del Jugo 42
2.2.1.3.	Influencia de la clarificación sobre el contenido de metales de la Panela 46
2.2.1.4.	Efecto del Nitrógeno sobre la Calidad de la Panela 47
2.2.1.5.	Composición de la Cachaza 49
2.2.1.6.	Productos utilizados para Mejorar la Apariencia de la Panela 49
2.2.2.	Evaporación y Concentración de los Jugos 52
2.2.2.1.	Temperatura de Ebullición del Jugo 52
2.2.2.2.	Densidad del Jugo 53
2.2.2.3.	Ph del Jugo 54
2.3.	Balance de Materiales 54
2.4.	Hornillas Paneleras 58
2.4.1.	Estructura 59
2.4.2.	Materiales de Pailas y Calderas 60
2.4.3.	Sistemas de Operación 61

		pág.
2.4.4.	Elementos Complementarios para el Proceso	63
2.5.	Combustibles	64
2.5.2.	Leña y Caucho	66
2.5.3.	Bagaceras	66
3.	BIBLIOGRAFIA	69

PROCESO DE ELABORACION DE PANELA

1. INTRODUCCION

La industria de fabricación de panela en el país, a partir de la caña de azúcar, es muy antigua; sin embargo, hace poco tiempo que se comenzaron a realizar investigaciones en este importante renglón de la economía nacional.

Diversos factores, que existen en las explotaciones de caña y en las instalaciones industriales para fabricación de panela, hacen aún más difícil establecer normas definidas para obtener mayores producciones. Entre estos factores, los más importantes pueden ser: las condiciones de suelo, clima y ecología de la región donde se realice el cultivo, las variedades utilizadas, los progresos técnicos, la capacidad económica, las tradiciones culturales y técnicas. Además falta de información para el montaje de trapiches de acuerdo a recomendaciones probadas. (capacidad del molino, eficiencia de extracción, velocidad de funcionamiento, capacidad de las hornillas).

De acuerdo a lo anterior, cada cultivo y trapiche se comporta como un caso particular donde es necesario formular recomendaciones individuales y en base de esto, presentar recomendaciones generales, que sean aplicables a la mayor parte de los productores.

Según la Oficina de Planeación del Sector Agropecuario, OPSA, del Ministerio de Agricultura (4), la superficie sembrada en caña para

ESTADÍSTICA

C. I. C.

panela durante el año de 1974, fué 328.000 hectáreas. De estas, el 65 por ciento se encuentra localizado en la zona cafetera. La mayor parte, son cultivos de áreas de minifundio, enmarcado en formas de producción de aparcería y de explotación directa por los propietarios. Aproximadamente el 98 por ciento de los productores utilizan métodos de cultivo tradicionales y antitécnicos.

Los rendimientos obtenidos en esta área, son bajos debido a prácticas de cultivo y procesamiento inadecuados, de lo anterior, se deduce que para obtener mayores producciones, basta con mejorar e introducir cambios en la tecnología de cultivo y procesamiento actuales.

La producción de panela de un 60 por ciento del área, que es lo que se cosecha anualmente, fué para 1974, 557.000 toneladas. El rendimiento promedio es entonces 2830 kilogramos por hectáreas. OPSA (4) muestra para los años de 1975 y 1976 y estima para 1977 los siguientes datos: 176.200, 175.800 y 178.100 hectáreas respectivamente.

La producción obtenida y estimada para estos mismos años es la siguiente: 805.600, 819.200 y 858.700 toneladas de panela. De aquí se deduce que los rendimientos son 4572, 4600 y 4821 kilogramos por hectárea para estos tres años. Sería interesante conocer, como esta influyendo la cantidad de azúcar que se está agregando a la panela, en el aumento de los rendimientos con relación al año de 1974. Además en los anteriores datos no está incluida la producción de miel.

El número de trapiches en el país según datos estimados es de 63000

de los cuales, según el censo cafetero de 1973, citado por Buena-ventura (3), el 77% posee molinos de tracción animal.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de elaboración de panela, después de la caña haber sido cortada y transportada al trapiche, consta de las siguientes etapas:

Apronte, molienda, limpieza o clarificación, evaporación del agua, concentración del jugo, enfriamiento, rayado de la panela y empaque.

En el presente curso se tratará el proceso desde la molienda de la caña.

2.1. Molienda

Es el proceso durante el cual se extrae gran parte del jugo contenido por la caña. Para poder realizar este proceso, en una forma industrial, es necesario contar con el recurso de máquinas denominadas molinos o trapiches.

2.1.1. Tipos de Molinos

Los molinos se pueden clasificar de acuerdo a la fuente de potencia con que son accionados, es así, como se puede considerar que existen trapiches o molinos de tracción animal y de tracción mecánica.

2.1.1.1. Tracción Animal

Entre los primeros se cuenta la quijada o cumbanba, que se utiliza para producir guarapo de consumo directo o para la fabricación de

melados, no para producir panela, por lo rudimentario y por su baja capacidad, Fig. 1; para fines similares, es utilizado el trapiche de dos maderos superpuestos. Estos trapiches son accionados por fuerza humana, Fig. 2. Para producir panela se utilizan molinos o trapiches de madera o piedra que son accionados por animales y en algunos casos por ruedas hidráulicas, Fig. 3. Se utilizan según Ramos N (15) en Nariño y Huila y en algunas partes del Valle del Cauca, Caldas, Antioquia, Cauca y Tolima, aunque su número es muy escaso; se caracterizan por la posición de las mazas que es vertical y van colocadas una detrás de otra.

El siguiente paso en el diseño de molinos para producción de panela, son los molinos de tres mazas de hierro colocadas en forma de triángulo y en posición vertical, Fig. 4. Son accionados en su mayor parte por medio de animales, aunque ultimamente por medio de malacates se les puede acondicionar un motor de poca potencia (3-4 caballos de fuerza). Según los fabricantes al funcionar estos molinos con motor, la capacidad se aumenta y mejora la recuperación de jugo; además, ellos aseguran que es más rentable este molino accionado con motor que por medio de animales.

El número de molinos de esta clase existentes en el país puede estar aproximadamente entre 40.000 y 50.000, pertenecen a los pequeños caficultores que pueden producir entre 1 y 5 cargas de panela por molienda.

En la tabla No. 1 se presentan las principales características de

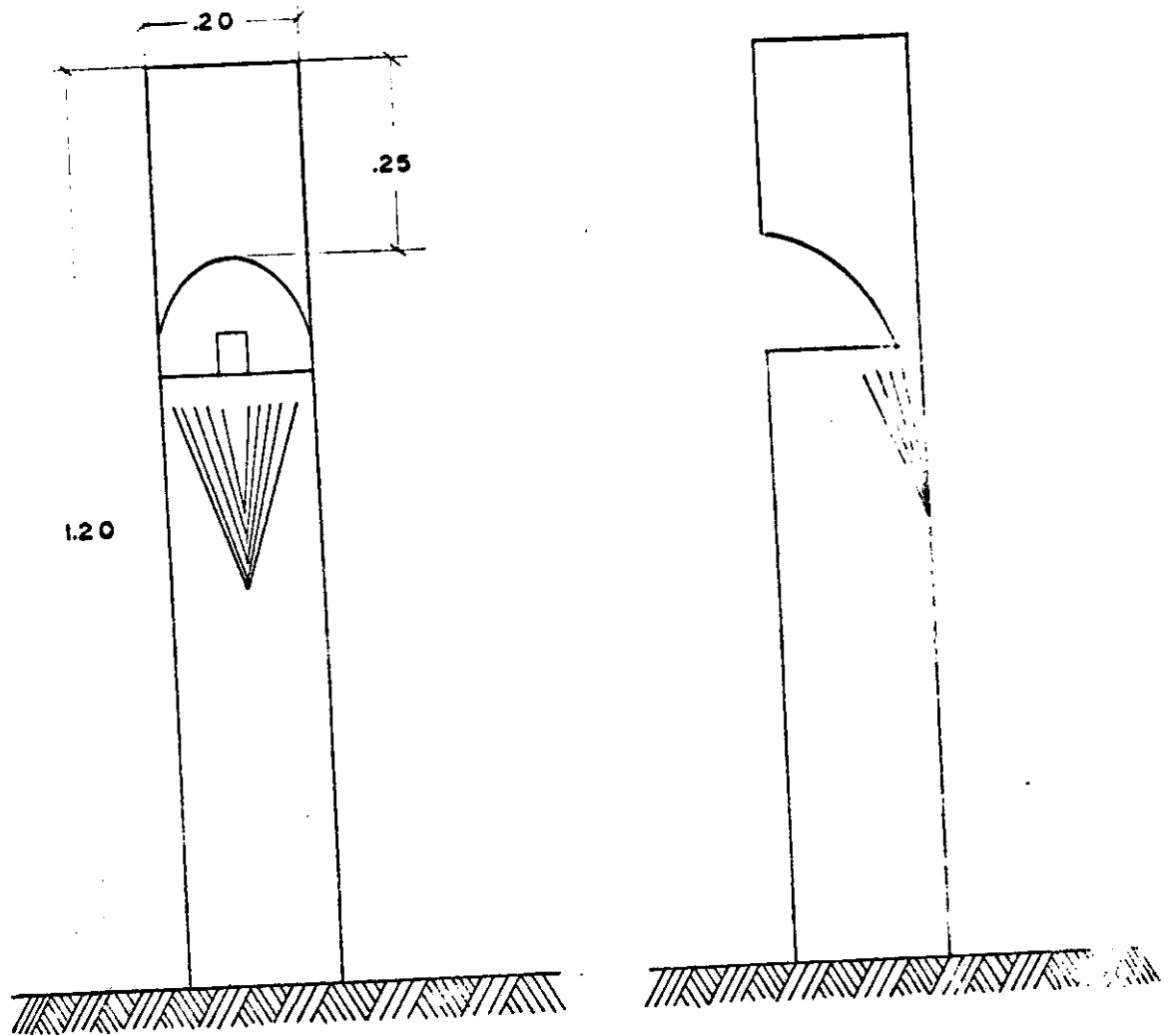


FIGURA I_ Madero clavado en tierra

nombre popular :

Valle del Cauca : Vieja

Llanos Orientales
y
Huila

Quijada o Cumbamba

existe en Nariño, Cauca y Antioquia

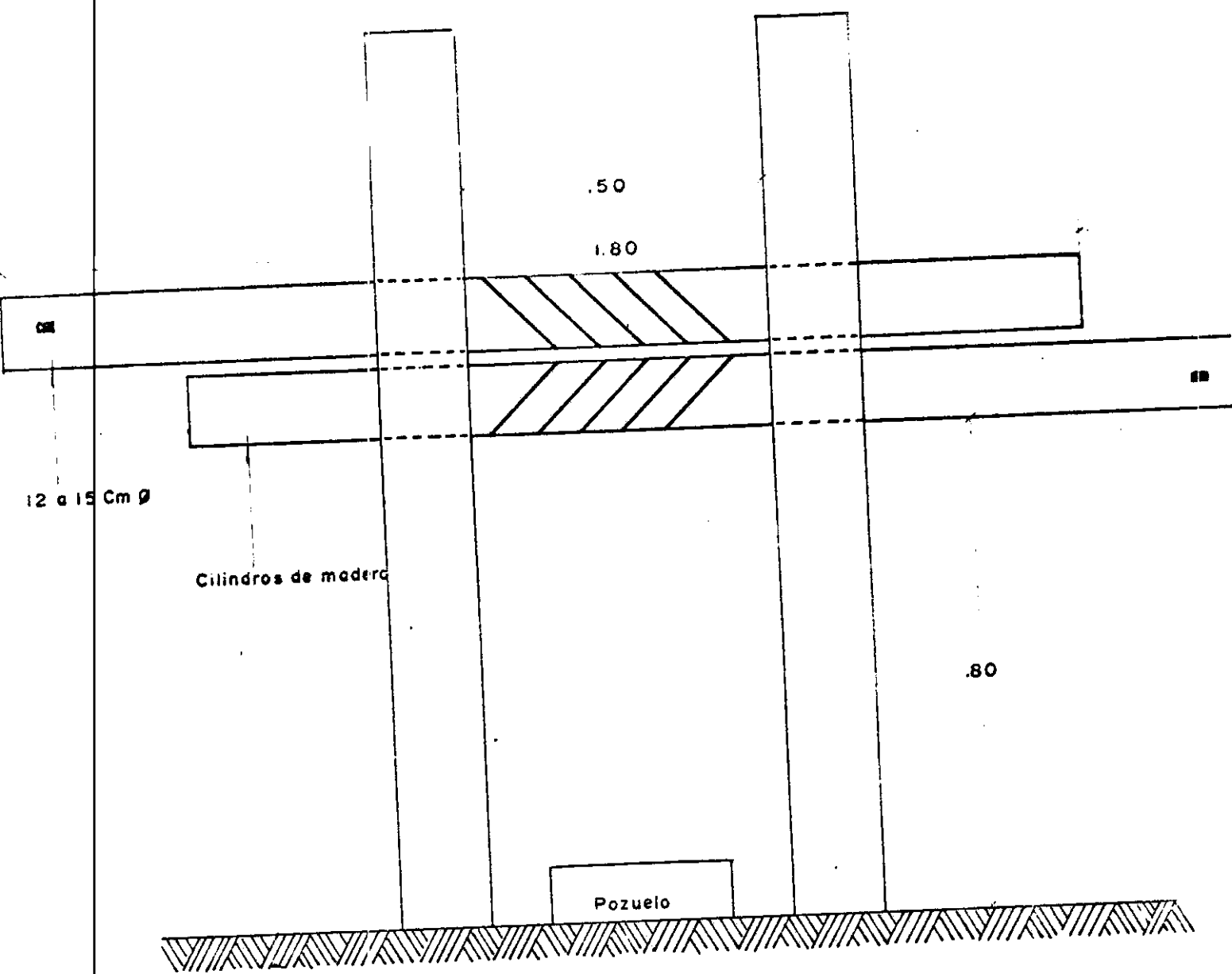


FIGURA 2... De dos maderos superpuestos

nombre popular: Matagente o Comegente

- Chocó
- Antioquia
- Valle
- Nariño
- Cauca
- Tolima
- Llanos Orientales

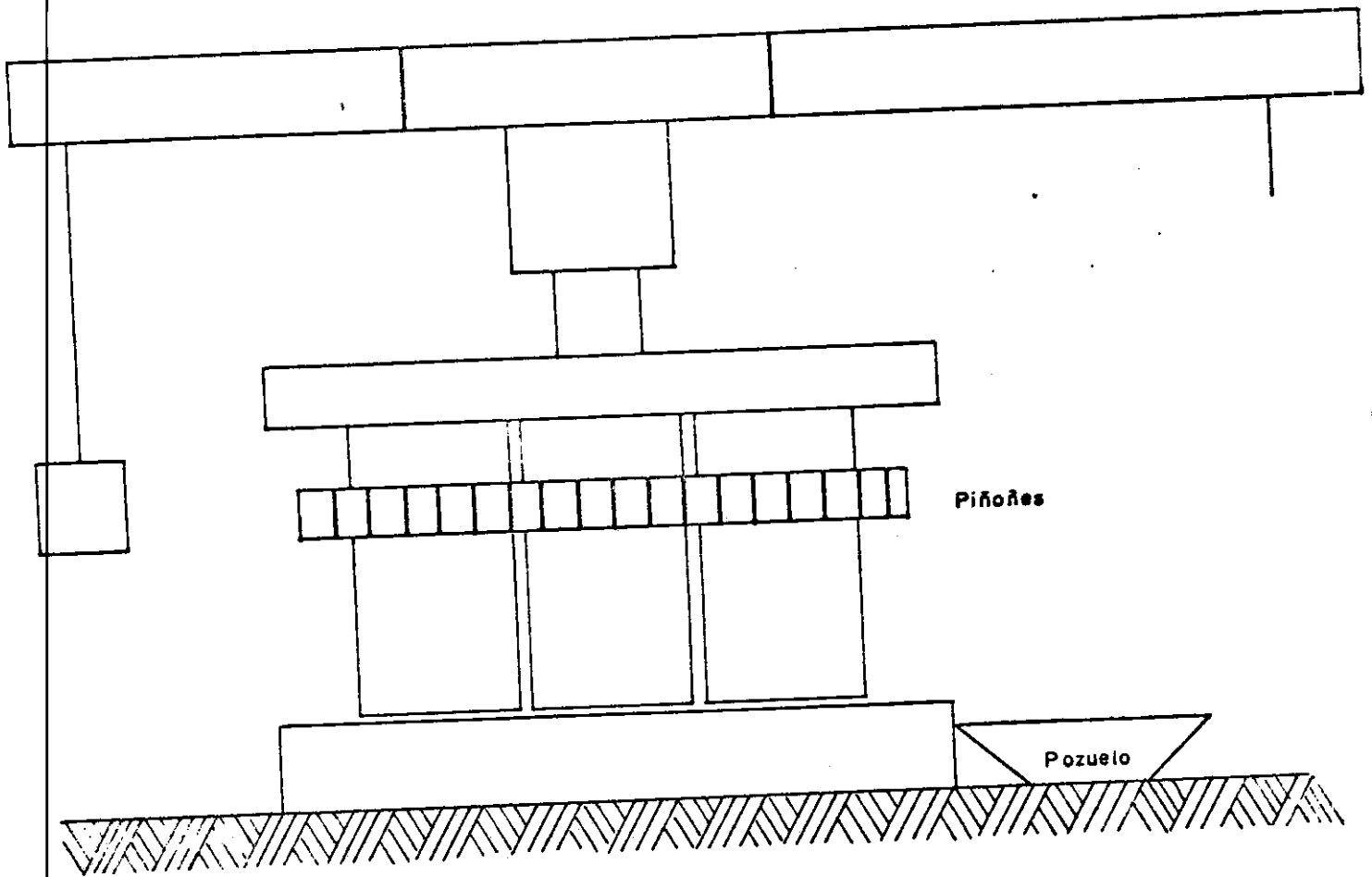


FIGURA 3.— De tres mazas verticales en madera o en piedra.

utilizado en: Nariño
Putumayo
Huila
Caldas
Tolima
Valle
Cauca
Antioquia

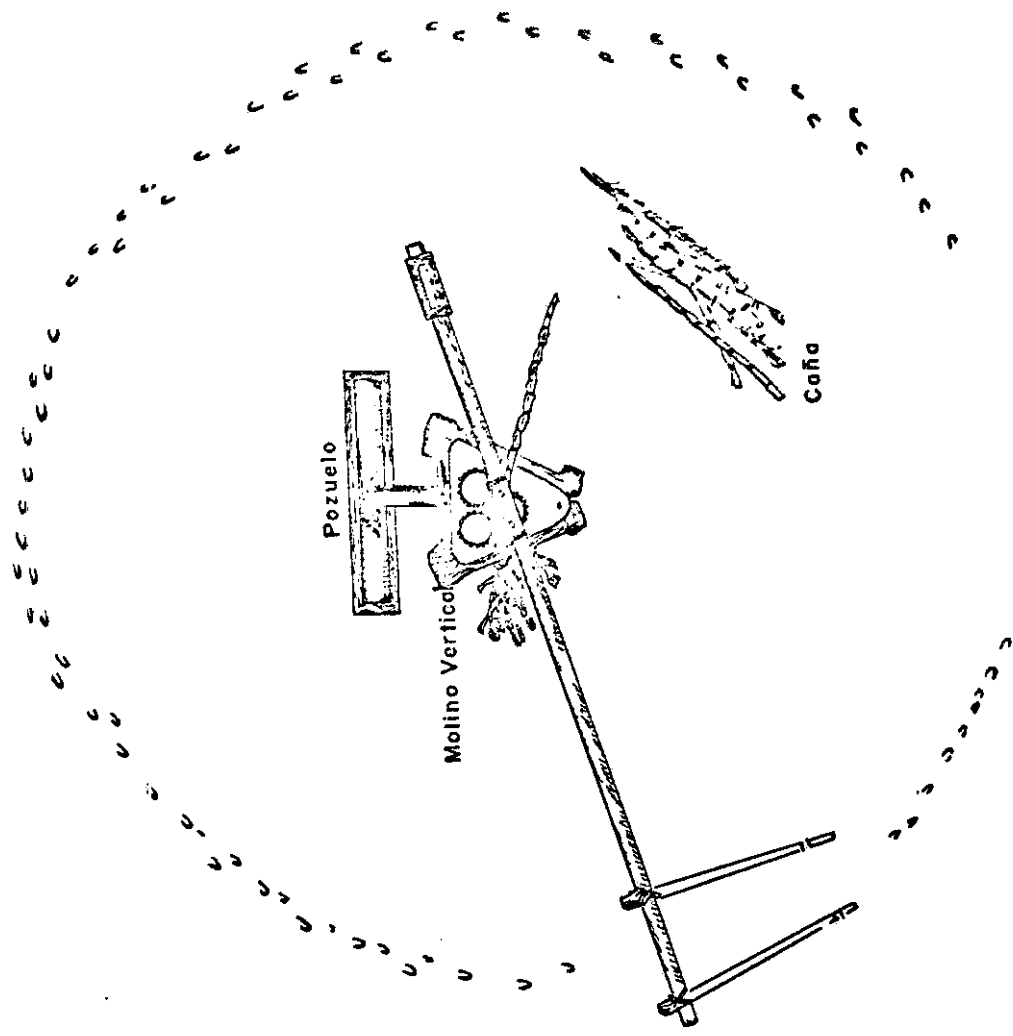


FIGURA 4.- MOLINO DE HIERRO VERTICAL DE TRACCION ANIMAL

molinos de tracción animal, suministrados por los fabricantes, desafortunadamente estos en sus catálogos, no es mucha la información que suministran.

La información referente a los trapiches Chattanooga, se suministra a pesar de no existir en el mercado, por la gran cantidad en funcionamiento que hay actualmente.

También se da la capacidad en panela, porque a pesar de no ser lo más recomendable, por la variación que tienen las diferentes cañas en el país, los fabricantes clasifican muchas veces sus molinos por este parámetro.

En cuanto a los malacates, aunque son fabricados por varias casas comerciales, únicamente Gerrey suministra los valores que se encuentran en la tabla 1. Referente a precios, a excepción de Vigig de Armenia que suministra los precios de los molinos puestos en fábrica, los demás son precios al público.

2.1.1.2. Tracción Mecánica

Los molinos de tracción mecánica se caracterizan además de ser accionados mecánicamente, por la posición de las mazas que siempre es horizontal, Fig. 5. El número de mazas para la gran generalidad es tres, pero, existen también de 5 aunque su número es reducido. La fuente de potencia para estos molinos, son motores que pueden ser eléctricos o de combustible o ruedas hidráulicas.

La capacidad de estos molinos varía de acuerdo al modelo, entre

1000 y 26.000 kilos por jornada de 12 horas. La extracción oscila entre el 50-60% del jugo con relación al peso de la caña. En la tabla No. 2 se presentan las características de los molinos, de tracción mecánica, con mazas horizontales, de acuerdo a datos suministrados por los fabricantes en sus catálogos.

La tabla No. 2 muestra que no existe relación entre los parámetros presentados por los diferentes fabricantes y en algunos casos para los diferentes modelos de una misma fábrica. Un caso, es la velocidad periférica donde los fabricantes presentan velocidades, sin guardar ninguna relación con el diámetro o longitud de mazas y mucho menos con la capacidad o rendimiento.

Tampoco existe relación entre el diámetro y la longitud de las mazas del molino; se anota que a medida que estos son más grandes, la capacidad aumenta, aunque sin presentarse una relación notable; sin embargo, los rendimientos son muy parecidos para el mismo fabricante en sus distintos modelos, pero cambian para las diversas casas comerciales aún para molinos de igual tamaño.

2.1.2. Eficiencia de Funcionamiento de los Molinos

La eficiencia de funcionamiento de un molino depende principalmente de la capacidad, extracción y potencia.

La capacidad de un molino, se determina por la cantidad de caña que pasa por unidad de tiempo. Extracción, es la cantidad de sacarosa que se recupera del total contenido por la caña, de acuerdo a las condiciones de esta. Potencia, es la fuerza necesaria para accionar

Marca	Modelo	Potencia del motor (HP)	Long. maza mayor (" - cm)	Dim. maza mayor (" - cm)	Velocidad (R.P.M.)	Vel. periférica (m/min.)	Capacidad caña (Kg./12hr.)	Panela (Kg./12 hr.)	Rendimiento $\frac{\text{Panela} \times 100}{\text{Caña}}$
Gerrey	13 V	8	10"- (25.40)	8"- (20.32)	15-18	9.58 - 11.49	21.000	3.000	14.29%
Hakspiel	6	6	8"- (20.32)	6"- (15.32)	10	4.81	1.050	60	5.70%
Hakspiel	8	8	10"- (25.40)	8"- (20.32)	10	6.38	1.450	90	6.71%
Hakspiel	10	10	10"- (25.40)	10"- (25.40)	9	7.18	1.500	100	6.67%
Hakspiel	10A	12	12"- (30.48)	10"- (25.40)	9	7.18	1.800	120	6.67%
Hakspiel	12	15	12"- (30.48)	12"- (30.48)	8	7.66	2.100	150	7.14%
Hakspiel	12A	18	14"- (35.56)	12"- (30.48)	8	7.66	2.800	200	7.14%
Penagos	TH 6	3	6"- (15.24)	8"- (20.32)	15	9.58	5.000	600	12.00%
Penagos	TH 8	6	10"- (25.4)	8"- (20.32)	15	9.58	9.500	1.200	12.63%
Penagos	TH 10	8	10"- (25.4)	10"- (25.4)	12	9.58	12.500	1.600	12.80%
Penagos	TH 11	10	12"- (30.48)	10"- (25.4)	12	9.58	13.000	1.650	12.69%
Penagos	TH 12	12	12"- (30.48)	12"- (30.48)	10	9.58	14.000	1.750	12.50%
Penagos	TH 16	16	16"- (40.64)	12"- (30.48)	10	9.58	20.000	2.500	12.50%
Rodriguez	R-4	5-6	8"- (20.32)	8 1/4"- (21.0)	14	9.22	900		
Rodriguez	R-5	5-7	10"- (25.4)	8 1/8"- (20.64)	14	9.08	1.200		
Rodriguez	R-8	6-8	10"- (25.4)	8 1/2"- (21.59)	13	8.82	1.500		
Rodriguez	R-14	12-16	13"- (33.02)	10 1/2"- (26.67)	12	10.05	2.000		
Rodriguez	R-20	18-24	18"- (45.72)	12 1/2"- (31.75)	9.5	9.48	3.000	480	
Tornometal*	TM 5	4	5"- (12.72)		38			1800	
Tornometal	TM 8	6-8	8"- (20.32)		30			2.400	
Tornometal	TM 10	8-10	10"- (25.40)		28			4.200	
Tornometal	TM 12	12-18	12"- (30.48)		24				
Zuffa	Nº 3	7-9					7.000		
	Nº 4	7.0					10.000		

Marca	Modelo	Potencia del motor (HP)	L. long. maza mayor (" - cm)	Diám. maza mayor (" - cm)	Velocidad (R.P.M.)	Vel. periférica (m / min)	Capacidad caña (kg/12 hr)	Panico (kg/12 hr)	Rendimiento $\frac{\text{Panico} \times 100}{\text{Cap. Caña}}$
Apolo	3B	6	8" - (20.32)	7 1/2" - (19.05)	20	11.97	7.500	950	12.67 %
Apolo	3C	6	8 1/2" - (21.60)	10" - (25.40)	20	15.96	8.000	1050	13.13 %
Apolo	4C	8	9 5/8" - (24.45)	9" - (22.86)	16.5	11.85	12.500	1500	12.00 %
Apolo	5	12	10 1/2" - (26.67)	10" - (25.4)	15	11.97	15.000	2.000	13.33 %
Apolo	8	15	13" - (33.02)	12" - (30.48)	13	12.45	26.500	3.250	12.26 %
Amagó	15	3	5 1/2" - (13.97)	5 1/2" - (13.97)	18	7.90		336	
Amagó	14	4	6 1/2" - (16.51)	6 1/2" - (16.51)	17	8.82		480	
Amagó	13	6	7" - (17.78)	7 1/2" - (19.05)	15	8.98		864	
Amagó	12D	8	8 1/2" - (21.59)	8" - (20.32)	14	8.94		1056	
Amagó	11D	12	10 1/4" - (26.04)	9 1/2" - (24.13)	14	10.61		1344	
Amagó	10D	16	12" - (30.48)	12 1/2" (31.75)	12	11.97		2400	
Famagrin	Kid	6	9" - (22.86)	7" - (17.78)	14	7.82	1.020	60**	5.88 %
Famagrin	vencedor	8	10" - (25.4)	10" - (25.4)	12	9.58	1.500	100	6.67 %
Famagrin	junior	8	10" - (25.4)	8 1/2" - (20.32)	14	8.94	1.440	90	6.25 %
Famagrin	super-junior	10	14" - (35.56)	8" - (20.32)	14	8.94	1.680	105	6.25 %
Famagrin	super-senior	16	16" - (40.64)	10" - (25.4)	12	9.58	2.100	150	7.14 %
Famagrin	gigante	25	20" - (50.80)	14" - (35.56)	8	8.93	3.000	300	10.00 %
Gaitan	3 mazas	7.5	10" - (25.4)	9" - (22.86)	10	7.18	12.000		
Gaitan	3 mazas	15	14" - (35.56)	11 1/2" - (29.21)	8	7.34	20.000		
Gaitan	3 mazas	30	20" - (50.8)	15" - (38.1)	6	7.18	40.000		
Gaitan	5 mazas	45	20" - (50.8)	15" - (38.1)	6	7.18	50.000		
Gaitan	3 mazas	50	24" - (60.96)	18" - (45.72)	6	8.62	60.000		
Gaitan	5 mazas	65	24" - (60.96)	18" - (45.72)	6	8.62	80.000		

* Los espacios corresponden a datos no especificados por los fabricantes

** La capacidad de molienda y producción de panico de Famagrin y Hakspiel se encuentran en kilos por hora.

Tabla N°1 - Algunos modelos de molinos fabricados en el país con sus principales

CONTINUA

el molino.

Diversos autores y entre otros Hugot (7) afirman que la capacidad es inversamente proporcional a la extracción, esto significa que a mayor capacidad de determinado molino, la extracción se reduce: lo importante es conjugar estos términos, para obtener mayor capacidad del molino sin sacrificar demasiado la extracción, o viceversa, el punto donde esto sucede es donde el molino funciona más eficientemente y es más rentable económicamente.

A continuación se estudiara en detalle cada una de las variables mencionadas anteriormente, explicando en cada una de ellas, los factores que las determinan y la forma de medirlas.

2.1.2.1. Capacidad y Factores que la Determinan

La capacidad de un molino generalmente se expresa en toneladas de caña por hora o por día. Si se expresa en toneladas por hora, indica que el molino esta funcionando sin interrupción durante la unidad mencionada. Cuando se expresa por día o por jornada de trabajo, significa e indica la cantidad de caña molida. Teniendo en cuenta el tiempo de operación y las paradas que se presentan.

Entre los factores más importantes que determinan la capacidad se tiene: Preparación y contenido de fibra de la caña, dimensiones, velocidad y número de mazas, y ajuste (abertura de trabajo).

2.1.2.1.1. Preparación de la Caña

A pesar de que en la industria panelera no se acostumbra preparar

la caña, en este estudio se menciona, porque al picar la caña o desmenuzarla, la alimentación del molino es más uniforme y la capacidad se puede aumentar notablemente. Hugot (7) menciona que en los ingenios, a pesar del número de molinos en serie, el efecto de las cuchillas o desmenuzadoras, aumenta la capacidad de la planta en un 10 a 15%; en un trapiche, que consta de un solo molino es probable que la capacidad se incremente en mayor grado.

2.1.2.1.2. Fibra de la Caña

Hugot (7) basado en diferentes autores, afirma que la resistencia de la caña a la acción de molienda, es más o menos proporcional al contenido de fibra de la caña. Esto significa que a mayor o menor porcentaje de fibra en la caña, la capacidad se reducirá ó aumentará más o menos proporcionalmente.

2.1.2.1.3. Velocidad y Diámetro de Mazas

Comunmente se habla de velocidad de los molinos sin precisarla y con el riesgo de confundir dos conceptos diferentes. Esta velocidad puede medirse de dos maneras: por la velocidad periférica (v) de las mazas generalmente, en metros por minuto; y por la velocidad de rotación (n), de las mazas, es decir el número de vueltas que estas dan por unidad de tiempo, se mide en revoluciones por minuto. Es indiferente utilizar cualquiera de las dos velocidades, se presenta problemas cuando se quiere comparar molinos de diferente tamaño.

Si se comparan molinos de similar tamaño, con diámetro igual de ma-

zas, el que este trabajando a mayor velocidad tendrá mayor capacidad; o sea que la velocidad esta relacionada directamente con la capacidad.

Cuando dos molinos de diámetro diferente estan funcionando a igual velocidad periférica, el incremento de capacidad, depende unicamente, de la mayor cantidad de caña que el de mayor diámetro puede recibir por la mayor abertura de trabajo (ajuste), ya que esta debe ser proporcional al diámetro. Sin embargo, el molino de mayor diámetro puede obtener mayor extracción, porque está girando a menor número de revoluciones por minuto y por tanto este molino tendrá menores pérdidas por jugo adherido el bagazo y porque el jugo tiene mayor oportunidad de escurrimiento, Hugot (7).

De acuerdo a lo anterior, el diámetro del molino está muy relacionado a la velocidad y al ajuste, si se aumenta la velocidad y el diámetro, la capacidad se puede incrementar al cuadrado; al aumentar el diámetro, manteniendo la velocidad constante, la capacidad aumenta linealmente.

2.1.2.1.4. Longitud de Mazas

Referente a la longitud de mazas, la capacidad esta proporcionalmente relacionada. Se explica aquí que algunos trapiches, los propietarios, colocan en las portacañas de entrada del molino trozos de madera con lo cual reducen la cantidad de caña que el molino recibe; con esto se reduce la capacidad del molino, generalmente porque el

motor no tiene la potencia necesaria.

2.1.2.1.5. Ajuste entre Mazas

El ajuste entre mazas debe ser proporcional al diámetro para que al aumentar el diámetro de éstas (utilizando un modelo más grande), la capacidad se incremente proporcionalmente al costo que significa comprar un molino más grande, ya que a mayor diámetro permite más alimentación.

En cuanto a las aberturas de trabajo, es necesario considerar las aberturas de las mazas de entrada, las aberturas de salida y la relación existente entre las dos. Para que el molino funcione eficientemente, el par de mazas quebradoras debe extraer entre el 60% al 75% del jugo, las mazas repulsoras el porcentaje restante.

Además, la capacidad y la extracción del molino, se pueden controlar tanto con el ajuste como con la velocidad; igual efecto se logra, disminuyendo ó aumentando la velocidad, manteniendo constante el ajuste, que reduciendo ó aumentando el ajuste y dejando constante la velocidad.

2.1.1.1.6. Número de Mazas

El número de mazas, incide directamente sobre la capacidad del molino, porque permite utilizar aberturas mucho más amplias, con lo cual se aumenta la cantidad de caña molida y la extracción no se reduce, por aumentar el número de pasadas entre mazas. Este efecto, se puede lograr con molinos de cinco mazas o con dos molinos en

serie, sin embargo, es mejor el primer caso, porque, con cinco mazas se hace el trabajo de seis.

Además, de los anteriores factores, existen otros que son importantes pero que son difíciles de cuantificar, como son: rayado de las mazas, ajuste de las partes mecánicas tales como piñones, calidad del personal encargado de la alimentación y mantenimiento del molino, entre otros.

2.1.2.2. Extracción y Factores que la Determinan

Los principales factores que determinan la extracción son los siguientes: Preparación y características de la caña, velocidad y número de mazas e imbibición.

2.1.2.2.1. Preparación y Características de la Caña

La preparación de la caña aumenta la extracción en los sistemas de molienda de los ingenios en un 263 por ciento, pero es necesario tener en cuenta que los ingenios pueden obtener extracciones, sin preparar la caña, superiores al 90%; esto significa que en un trapiche, el preparar la caña, podría ayudar para obtener extracciones más altas.

El contenido de fibra y riqueza de sacarosa de la caña, cambia con la variedad, tipo de suelo, forma de cultivo, condiciones climáticas y ecológicas; y es así como cultivos de caña realizados en la misma zona y con la misma variedad pueden tener contenidos diferentes

de fibra o sacarosa, bien sea por las condiciones ambientales o por la edad de la caña.

Déer, citado por Hugot, afirma que la extracción se reduce a medida que el porcentaje de fibra aumenta. En cuanto a la riqueza de sacarosa, Mithal (11) anota que la extracción aumenta con el aumento de sacarosa contenida por la caña; estos son factores que hay que tener en cuenta, cuando se quiere determinar la eficiencia de extracción de cualquier molino.

2.1.2.2.2. Presión de las Mazas sobre la Caña

La presión que recibe la caña esta dada por el ajuste demazas y por la alimentación al molino. Con alimentación constante, a menor distancia entre masas mayor extracción.

2.2.1.2.3. Velocidad y Número de Mazas

La velocidad de las mazas del molino es inversamente proporcional a la extracción, León y otros (8) encontraron que por cada metro por minuto que se reduzca la velocidad, la extracción aumenta en 1 a 1.5% por ciento, alimentando el molino con igual cantidad de caña.

En Ingenios de Java, de donde se busca obtener extracciones altas (superiores a 97%) por el costo de la mano de obra, utilizan velocidades bajas y para compensar la baja de capacidad, colocan más molinos en serie.

Hugot afirma, que se puede eliminar el efecto de la velocidad sobre

la extracción, si a medida que se aumenta la velocidad, se aumenta proporcionalmente la alimentación del molino; pero, esto trae como consecuencia el incremento exagerado del consumo de potencia. Lo anterior porque a medida que se aumenta la velocidad se incrementa el consumo de potencia y segundo, porque al aumentar la alimentación es necesaria mayor cantidad de potencia. Además, hay que tener en cuenta el diseño y resistencia de los materiales del molino para resistir la sobrecarga que se presenta. El número de mazas, también permite elevar el porcentaje de extracción, por el número de pasadas de la caña por entre las mazas.

2.1.2.2.3. Imbibición

El factor que más influye sobre la extracción es la imbibición, para la cual es necesaria la presencia de más de un molino de tres mazas, en el sistema de molienda.

La imbibición consiste, en que después de haber pasado la caña por el primer molino, se le agrega agua, que puede ser caliente o fría; cuando esto sucede se llama imbibición simple. Cuando además de añadir agua, se agrega jugo bastante diluido se llama imbibición compuesta, que puede ser doble o triple, según el número de sitios donde se realice la adición de jugo diluido ó agua.

En Ingenios con sistemas de extracción compuesto de cuchillas rotativas y desmenuzadora para preparar la caña, además de varios molinos en serie (siete o más) el porcentaje de extracción sin imbibición solo es del 86% de sacarosa; en cambio, cuando se agrega agua

y jugo diluido , el porcentaje de extracción puede subir al 97 por ciento. Ese 86 por ciento de extracción de sacarosa corresponde a una extracción de jugo, en base al peso de la caña, de un 70 a 74 por ciento.

La explicación de lo anterior está dada por las características del bagazo, que no permiten el descenso de la humedad a niveles inferiores del 45 por ciento, independiente de la presión que reciba de las mazas y del número de veces que pase entre estas. Entonces la solución es agregar agua al bagazo, para recuperar la humedad inicial y que al pasar por entre el siguiente par de mazas, sea extraída nuevamente, con azúcar diluido, el cual es arrastrado por esta agua. Además en la extracción intervienen otros factores como, rayado de las mazas, valor técnico del personal y otros.

De acuerdo a lo visto anteriormente, son muchos los factores que intervienen en la extracción realizada por el molino y que un 60 por ciento en peso que realice el molino panelero, puede estar muy cerca no al óptimo de extracción para esta clase.

Entonces, el paso siguiente, es estudiar y brindar las recomendaciones para que todos los molinos de tres mazas de tracción mecánica, obtengan este nivel o un poco más elevado, (65 por ciento en peso) con esto se lograría recuperar gran cantidad de sacarosa que se está perdiendo actualmente en el bagazo y que puede representar pérdidas cercanas a los mil millones de pesos por cosecha de 18 meses.

Hay que tener en cuenta, que un 60 por ciento de extracción en peso representa una extracción de sacarosa del 73 al 75 por ciento, de acuerdo a las condiciones de la caña y que obtener niveles cercanos al 86 por ciento de extracción de sacarosa, podrían significar inversiones que pueden resultar antieconómicas, por los niveles de producción de la mayor parte de los cañicultores que se dedican a elaborar panela.

2.1.2.2.4. Conceptos utilizados para Medir la Eficiencia de Extracción de los Molinos.

Quiñones (14) afirma, que un molino esta funcionando, correctamente, cuando se extrae del 55 al 60% de jugo en relación al peso de la caña, o sea que utiliza como medida de la eficiencia del molino, la cantidad de jugo que se puede obtener con relación al peso de la caña. La sociedad internacional de tecnólogos del azúcar de caña, eliminó este término como medida de la eficiencia de los molinos (inicialmente se consideraba importante), por considerar que no tiene en cuenta para nada las características de la caña y que un mismo molino trabajando aún con cañas de la misma variedad, puede presentar diferentes eficiencias de acuerdo al contenido de sacarosa y fibra de la caña.

Otro término, que es utilizado frecuentemente y que es un indicativo de la eficiencia del molino, es el denominado "Extracción de sacarosa", que indica la cantidad de sacarosa que se obtiene, sobre la cantidad contenida por la caña, multiplicada por 100, o sea:

$$r = \frac{\text{sacarosa del jugo}}{\text{sacarosa de la caña}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Esta ecuación conduce a un error menos significativo, por tener en cuenta la sacarosa recuperada, que es al fin y al cabo el producto importante en el proceso de elaboración, pero la única manera como se pueden comparar varios molinos, que estén trabajando con caña de diferentes condiciones, es teniendo en cuenta el contenido de fibra de la caña. Noel Déerr (), propuso una fórmula para reducir la extracción, llevándo la fibra de la caña a una base común de 12.5 por ciento, este término se denomina extracción reducida de Déerr:

$$Er = 100 - \frac{\text{Guarapo absoluto en bagazo \% fibra}}{7} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde, guarapo absoluto en bagazo % fibra

$$= \frac{\text{extracc. sacarosa (Pol)} \times (100 - \text{fibra \% caña})}{\text{fibra \% caña}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Otra ecuación que se puede utilizar, por tener en cuenta tanto la fibra como la riqueza de la caña, es la relación de extracción:

$$\text{Relación de extracción} = \frac{(100 - \text{extracción})}{\text{fibra \% caña}} \quad (\text{Ec. 4})$$

En Java se utiliza un término que se está imponiendo internacional

mente, como medida de la eficiencia de los molinos, es denominado jugo perdido % de fibra:

$$\frac{\text{Brix del bagazo} \times 10.000}{\text{Brix del jugo primario} \times \text{fibra \% del bagazo}} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{donde Brix del bagazo} = \frac{\text{azúcar \% bagazo}}{\text{pureza del jugo del último molino}}$$

Las anteriores ecuaciones, han sido aprobadas por la sociedad internacional de tecnólogos del azúcar y las mencionan en sus métodos, como los factores que sirven para medir la eficiencia de los molinos, Spencer (16) y Hugot (7).

Además, es necesario mencionar que la evaluación de extracción en peso de jugo se puede utilizar como un indicativo del funcionamiento del molino, cuando se disponga de una balanza, ya que para utilizar los otros parámetros, es necesario realizar análisis químicos para obtener la composición de la caña y sus subproductos.

Se recomienda, en cualquier estudio que se realice para evaluar los molinos, tener en cuenta sobre todo las ecuaciones una y dos, porque facilitan la apreciación de la eficiencia del molino, por brindar directamente el porcentaje de sacarosa recuperada y la que se pierde en el bagazo. La fórmula de Déarr es interesante por presentar el valor de extracción al trabajar con caña de diferentes condiciones.

2.1.2.3. Potencia y factores que la Determinan

Determinar la potencia del molino es bastante complejo, porque integra numerosos factores que hacen bastante difícil esta labor; Hugot anota que la potencia en un molino depende de seis términos principales:

- a) Potencia consumida por la compresión de la caña.
- b) Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes.
- c) Potencia consumida por la fricción entre el bagazo y la cuchilla central.
- d) Potencia consumida por la fricción de los raspadores y de la punta de la cuchilla central (tornobagazo) contra las mazas.
- e) Potencia consumida por los engranajes.

Además de estos componentes, hay otros factores que la afectan y que son difíciles de estimar, tales como, variedad de la caña, es tado de las superficies en rozamiento, calidad y conservación de la lubricación, ajuste de las aberturas y de la cuchilla.

Esta cantidad de factores, hace difícil los cálculos. La potencia consumida para la compresión de la caña es afectada por los siguientes factores:

Velocidad de mazas

Longitud de mazas

Diámetro de mazas

Contenido de fibra de la caña

Alimentación del molino

La potencia se aumenta proporcionalmente con el aumento de velocidad. En ensayos realizados por el ICA en Sasaima, en la granja de la Isla de la Universidad de La Salle, donde existe un trapiche que posee un molino Hakpiel, modelo No. 10, accionado por un motor eléctrico de 13.5 H.P. Se cambió la velocidad del molino reduciendo de 11.78 m/min (14.75 rpm) a 9.05 m/min (11.30 rpm). La intensidad consumida, para la primer velocidad oscilaba entre 25 y 35 amperios y para la segunda entre 15 y 25 amperios.

La potencia cambia proporcionalmente con la longitud, siempre y cuando se utilice la longitud total. Al aumentar la capacidad o la extracción con el aumento del diámetro, la potencia se incrementará proporcionalmente. Murry (12) dice que la potencia es inversamente proporcional al diámetro de las mazas, por tonelada de caña molida, en igualdad de condiciones de funcionamiento del molino y de composición de la caña. Además, esto fué comprobado por el ICA en Bucaramanga donde se obtuvo resultados similares.

El ajuste de las mazas también afecta la potencia consumida por el molino, es así como a menores aberturas de trabajo, la potencia se incrementa considerablemente. La potencia cambia además con

el contenido de fibra de la caña y es proporcional al aumento o disminución de esta.

Otro factor que interviene en la potencia, es la alimentación del molino, o sea, cantidad de caña suministrada y es natural que la potencia se incremente o se reduzca, con el aumento o disminución de la cantidad de caña utilizada en la alimentación del molino.

2.1.3. Consideraciones para la Selección de Molinos

La selección de un molino depende principalmente de la producción de caña, de la frecuencia de moliendas, del costo de los equipos, instalaciones y de mano de obra, entre otros.

De acuerdo a la extensión cultivada en caña, a los rendimientos pro medios de la región y a la duración del período vegetativo del cul tivo en la zona, se puede calcular la cantidad de caña a moler anual mente.

Teniendo estimada la cantidad de caña a moler anualmente, el siguien te paso es determinar cuantas moliendas se van a realizar en el año, con esto se encuentra el número de toneladas a procesar por molienda, determinando en horas ó días cual es el tiempo de tra- bajo, por molienda.

Con los anteriores datos, se conoce cuantas toneladas de caña se van a moler por hora o jornada de trabajo, valor este que sirve para seleccionar el molino en los catálogos de los fabricantes, donde se encuentra la capacidad de los molinos en toneladas de caña por

día o por hora, y características diferentes de la caña.

En la selección del molino, es necesario tener en cuenta los costos de molino, motor e instalaciones de hornilla y enramada, además, del costo de la mano de obra de la región, ya que puede ser más rentable la inversión en instalaciones y equipos de mayor tamaño, por tanto mayor costo, que pueden brindar mayor capacidad o extracción por unidad de tiempo de trabajo. O tener equipos de baja capacidad donde para producir igual cantidad de panela se va a requerir más tiempo.

Cuando no se conoce la cantidad de caña que se produce por unidad de superficie (hectárea fanegada), pero se conoce o se estima la cantidad de panela que pueden producir estas unidades de superficie, los cálculos para selección del molino se pueden hacer de acuerdo a este dato, ya que una tonelada de caña puede producir entre 90 y 110 kilogramos de panela.

Ejemplo para seleccionar un molino:

- | | |
|--|------------------|
| 1) Extensión cultivada en caña : | 20 Has. |
| 2) Rendimiento promedio esperado en la región : | 70 ton/ha. |
| 3) Período vegetativo del cultivo en la región : | 18 meses |
| 4) Frecuencia de molienda : | 1 cada 3 semanas |

De acuerdo a lo anterior, se tiene que 20 hectáreas pueden producir en la región 1400 ton de caña en 18 meses, esto significa que mensualmente se deben moler aproximadamente 80 toneladas o sea 960

toneladas anualmente. Como se está moliendo cada tres semanas, esto significa que, durante el año se van a realizar 17 moliendas de 56 toneladas de caña.

Si se toma como base 12 horas de molienda diarias, que significan de 14 a 15 horas de trabajo de los operarios de la hornilla, la selección del molino se hace como se muestra en la Tabla No. 3.

Tabla No. 3 Selección de molino de acuerdo a los días de molienda.

No. días	Ton/caña hora	Ton/caña día	M o d e l o		
2	2.333	27.999	12" x 12"	6	12" x 13"
3	1.555	18.666	10" x 10"	6	12" x 10"
4	1.166	13.992	9" x 9"	6	9" x 10"
5	0.933	11.199	8" x 10"	6	8" x 9"
6	0.777	9.114	8" x 8"	6	7" x 9"

En el modelo, el primer número indica el diámetro de la maza y en el segundo la longitud: los datos sobre capacidad, se tomaron en forma un poco apreciativa, de bido a la falta de consistencia de los valores suministrados por los fabricantes (Tabla No. 2).

En forma similar, se pueden seleccionar los molinos para explotaciones con área cultivada, frecuencia de molienda y tiempo de operación diferentes.

Si se encuentra que el molino escogido tiene demasiada capacidad

con relación a la hornilla, como sucede en la mayoría de los que están funcionando actualmente, donde en algunos trapiches, el molino trabaja media hora y permanece parado otra media hora, o sea, el tiempo muerto es de 50 por ciento del total. Lo más recomendable es tratar de compensar la capacidad del molino con la de la hornilla, para obtener una mayor eficiencia de los equipos y evitar las pérdidas de sacarosa del jugo por inversión en los pozuelos. Existen dos soluciones principales para este problema: la primera es darle mayor capacidad a la hornilla, que se puede lograr aumentando el número de pailas y la segunda disminuyendo la capacidad del molino.

La disminución de la capacidad del molino se puede obtener de tres maneras:

a) Disminuyendo la velocidad del molino dejando constante el ajuste. b) Disminuyendo las aberturas de trabajo (ajuste) y dejando constante la velocidad c) Disminuyendo ambas, sin embargo, se recomienda disminuir la velocidad y no el ajuste por las siguientes razones:

- 1) Si se disminuye velocidad, la potencia consumida disminuirá, caso contrario sucede con el ajuste.
- 2) El desgaste del molino se reduce.
- 3) La alimentación se puede aumentar y además se puede realizar en forma más uniforme.
- 4) En ambos casos, la extracción se incrementa y la capacidad dis-

minuye.

- 5) El ajuste se puede reducir, hasta el punto en el cual la alimentación del molino comience a presentar problemas.

Como cambiar la velocidad del molino:

La velocidad del molino se pueda cambiar de cuatro maneras.

- a) Acelerando o desacelerando el motor
- b) Aumentando o disminuyendo el diámetro de la polea del motor
- c) Aumentando ó disminuyendo el diámetro de la polea del molino
- d) Con un eje intermedio ó un variador de velocidad

El primero de los casos es el más fácil de realizar, sin embargo, hay que tener en cuenta, que el motor debe funcionar a la velocidad en el cual su eficiencia sea máxima, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Cambiar el diámetro de la polea del motor puede ser más factible, pero la potencia transmitida por la correa disminuye, a medida que el diámetro de la polea se reduce.

Cambiar el volante del molino tiene ventajas tales como darle mayor inercia, utilizar mejor la transmisión de potencia por la correa, pero puede resultar bastante costoso por los cambios a realizar si el molino ya esta instalado.

Con eje intermedio, se pueden utilizar motores de mayor número de revoluciones (1800 ó 3.600) como es el caso de los motores eléctricos.

2.1.4. Transmisión de Potencia

Los molinos para efectuar su labor requieren de fuerza para mover sus mazas. Esta fuerza proviene de la potencia desarrollada por el motor, la cual se transmite por medio de correas, ya sean planas o trapezoidales. Una mala selección de las correas ocasiona pérdida de potencia, desgaste excesivo del material y dificultades durante el proceso.

Las correas planas son utilizadas para distancias entre centros largos, mientras que las correas trapezoidales en distancias cortas, las primeras ofrecen flexibilidad, absorción al choque, eficiente transmisión de potencia a elevadas velocidades, resistencia a las sustancias abrasivas en la atmósfera y un costo relativamente bajo. Sin embargo, requieren alta tensión, lo que se transmite en una elevada carga en los soportes de los ejes. En algunos casos producen más ruido que correas de otro tipo.

Las correas trapezoidales son empleadas para distancias intermedias en velocidades periféricas entre 1500 a 6000 pies/m (457-1829 m/min), su eficiencia es superior al 95%, estas correas permiten mejores relaciones de velocidad y tiene una vida más prolongada (3 a 5 años) Son de fácil instalación, desmonte, silenciosas y de mantenimiento bajo. Esta clase de correa presenta mejor adhesión que la correa plana debido a mayor superficie de contacto, presentando un menor desgaste en los cojinetes y ejes, Zaiss (17).

2.1.4.1. Materiales de las Correas

Las correas estan hechas generalmente de los siguientes materiales:

a) Cuero b) Lonas o cuerdas impregnadas de caucho c) Caucho no reforzado o plástico d) Cuero-reforzado e) Lona, Black (2).

Las correas que más se utilizan en los trapiches son correas planas de caucho hechas de tejidos o cuerdas de algodón, que se unen con compuestos de caucho vulcanizado. Estas correas las fabrican en diferentes tamaños, condiciones de servicio y resistencia. Se especifican por el ancho y el número de lonas; su resistencia viene dada por kg/cm^2 por capa y por centímetro de ancho. La resistencia para estas correas varía de 280-320 lbs/pulg^2 (19,73 - 22,55 kg/cm^2) por capa, dependiendo del peso de la lona.

Las tensiones iniciales en las correas de este tipo van de 15 a 25 libras por capa y por pulgada de ancho (2,68 - 4,46 kg por capa y por centímetro de ancho). Dependiendo del peso de la lona, existen unas tensiones máximas de seguridad para correas de caucho entre 4,46 y 6,25 kg por capa y por centímetro de caucho.

2.1.4.2. Arco de Contacto

El mayor cubrimiento de una correa sobre una polea pequeña, permite mayor transmisión de potencia. Un arco de contacto pequeño en una polea donde las cargas sean livianas, puede transmitir en condiciones aceptables la potencia, pero este mismo arco sobre una polea donde las cargas son altas, puede resultar un deslizamiento de la co

rea, con la consiguiente pérdida de potencia; de lo anterior se ve la necesidad de mantener un buen arco de contacto.

El arco de contacto sobre la polea pequeña viene dado por:

$$\phi = 180^\circ - \frac{(D - d) 60}{C} \quad (\text{Ec. 6})$$

donde:

D = diámetro nominal de la polea grande, en m.m.

d = diámetro nominal de la polea pequeña, en m.m.

C = distancia entre ejes, en m.m.

ϕ = arco de contacto en grados

En la Tabla 4, se muestra la relación entre el ángulo de cubrimiento y el coeficiente de potencia, valor este que sirve para corregir la potencia a transmitir por la correa.

Tabla 4 Coeficiente de potencia según el ángulo de cubrimiento.

Angulo de cubrimiento en grados.	180	170	160	150	140	130	120	110	100
Coeficiente de potencia (K)	1	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83	0,77	0,70

2.1.4.3. Longitud de la Correa

Un factor de gran importancia es la longitud de la correa, teniendo en cuenta el encogimiento, alargamiento y longitud necesaria para la tensión inicial. Una regla común es cortar las correas de mane

ra que sean 1 por ciento menor que la medida de la banda calculada. Cuando la carga es muy pesada se recomienda 1.5 por ciento. En la mayoría de las correas se presenta un alargamiento entre 2 y 4 por ciento, de ahí que se utilizan poleas tensoras O base del motor corrediza.

La longitud viene expresa por la siguiente ecuación:

$$L = 2C + 1.57 (D+d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (\text{Ec. 7})$$

donde:

C : distancia entre centros, cms

D : diámetro nominal de la polea mayor, cms

d : diámetro nominal de la polea menor, cms

Cuando no existe limitación para la distancia entre ejes, la tabla 5 es de gran ayuda, para seleccionar esta distancia.

Tabla No. 5 Distancia entre ejes en transmisiones por correa

Diferencia en cms entre los diáme- tros de las po- leas	Distancia en metros entre ejes, ancho de la correa (cms).			
	8	12	16	20
40	3,3	3,7	4,1	4,5
60	3,6	4,0	4,4	4,8
80	3,8	4,2	4,6	5,0
100	4,1	4,5	4,9	5,3
120	4,4	4,8	5,2	5,6

2.1.4.4. Factor de Servicio

Las correas están sujetas a pulsaciones de cargas fuertes, las cuales comúnmente ocasionan sobrecargas, esto obliga a multiplicar la potencia requerida por un factor de servicio, para obtener un apropiado incremento en la potencia de diseño.

El factor de servicio depende de la máquina a mover y la máquina que suministra la potencia, en general para el caso de Motores de combustión interna y molinos el factor es 1,4 - 1.6

2.1.4.5. Potencia Transmitida por una Correa de Caucho

En general para calcular la potencia que puede transmitir una correa y por consiguiente seleccionar las dimensiones de ésta, se pueden emplear varias fórmulas de acuerdo al grado de exactitud que se requiera, Marks (10).

Una expresión muy usada en correas de caucho esta dada por:

$$CV = \frac{c.v. \times F}{W \times K} \quad (\text{Ec. 8})$$

c.v. = potencia realmente transmitida o indicada en la placa del motor

W = ancho de la correa, cms

F = factor de servicio

K = factor del arco de contacto

C.V. = potencia transmitida por la correa por cm

Para la selección de la correa es necesario determinar el número de

lonas, valor que se encuentra en la Tabla 6 y con este valor se busca en la 7 la potencia que puede transmitir la correa por centímetro de ancho.

Tabla No. 6 Diámetros mínimos de las poleas, en cm para correas de caucho.

Capas o lonas	Velocidad de la correa, m por minuto				
	152	305	457	610	762
3	10,16	10,16	10,16	10,16	12,70
4	10,16	12,70	15,24	15,24	17,78
5	15,24	17,78	22,86	25,40	25,40
6	22,86	25,40	27,94	33,02	35,56
7	33,02	35,51	40,64	43,18	45,72
8	45,72	48,26	53,34	55,88	58,42

Tabla No. 7 Potencia nominal en C.V. para correas de caucho por centímetro de ancho.

Capas o lonas	Velocidad de la correa, m por minuto				
	152	305	457	610	762
3	0,28	0,56	0,84	1,08	1,32
4	0,36	0,76	1,12	1,44	1,76
5	0,48	0,92	1,36	1,80	2,20
6	0,56	1,12	1,64	2,16	2,64
7	0,64	1,28	1,88	2,48	3,08
8	0,72	1,44	2,12	2,80	3,48

2.1.4.6. Selección de Correa

Para comprender mejor la selección de una correa plana se muestra a continuación el siguiente ejemplo:

Se tiene un molino modelo 10, el cual debe guiar su maza superior a 10 rpm, la relación de transmisión por engranajes hasta el volante es de 18.4: 1, con un diámetro del volante de 40" (102 cm). Se tiene un motor diesel de 12 C.V. a 850 rpm, se desea conocer cual es la mejor correa a utilizar.

Inicialmente es necesario conocer la velocidad en el volante del trapiche.

$$N_1 = 10 \text{ rpm} \times 18.4 = 184 \text{ rpm.}$$

18.4 = relación de transmisión

El diámetro de la polea en el motor se encuentra de la siguiente ecuación:

$$D_1 N_1 = D_2 N_2 \quad (\text{Ec. 9})$$

D_1 y N_1 = Diámetro y revoluciones en el eje del motor

D_2 y N_2 = Diámetro y revoluciones en el eje del molino

El diámetro de la polea del motor se encuentra de la ecuación 9.

$$D_1 = 22,08 \text{ cms} \quad (69")$$

En base de la Tabla 5, se escoge la distancia entre centros, asumiendo inicialmente una correa de 5" de ancho (aproximadamente 12 cms);

con una diferencia entre los diámetros de las poleas de 80 cms, la distancia es 4,20 mts.

Conocida la distancia entre centros, se determina la longitud de la correa de acuerdo a la ecuación 7.

$$L = 1038 \text{ cm} = 10,38 \text{ m.}$$

El arco de contacto sobre la polea más pequeña viene dado por la Ecuación 6.

$$\phi = 169^\circ$$

Conocido el arco de contacto, en la tabla 4, se encuentra el coeficiente de potencia, 0.98.

La velocidad periférica de la correa es

$$V. = D_1 N_1$$

$$V. = 589,6 \text{ m/min.}$$

Para un diámetro de 22,08 cm y con una velocidad de 589,6 m/minuto de la banda se selecciona una correa en la Tabla 6, la cual es de 5 lonas.

En la tabla 7, se encuentra la potencia que esta correa transmite por centímetro de ancho = 1.74 caballos.

El ancho de la correa se encuentra de la ecuación 8, En esta se utiliza para este caso un factor de servicio de 1.4.

$$W = 9,85 \text{ cms (3,87")}$$

Se escoge una correa de 4" de ancho con 5 lonas con este valor se calcula nuevamente la distancia entre ejes, para el ancho de correa seleccionado.

$$W = 10,16 (4")$$

$$C = 4 \text{ mts de la Tabla No. 5}$$

La longitud de la correa es: 998 cms (aproximadamente 10 mts) Ecuación 7.

El arco de contacto: 168°

La variación del arco de contacto es pequeña, variando muy poco el ancho de la correa, al calcularla nuevamente.

La potencia utilizada en este ejemplo es a nivel de mar, sin embargo se debe corregir este valor con la altura y temperatura en la siguiente forma: altura: 3,5 por ciento por cada 300 mts. sobre el nivel del mar, después de los primeros 150 mts. Temperatura: 2 por ciento por cada $5,5^\circ\text{C}$ por encima de los 30°C .

2.2. Clarificación, Evaporación y Concentración de los Jugos

Después de haber sido extraído el jugo de la caña por el molino, pasa por estas tres fases del proceso para la fabricación de la panela. Durante la primera, son eliminadas las impurezas que contiene el jugo y que luego de ser extraídas se denominan "cachazas".

La segunda y la tercera son difíciles de delimitar durante el proceso

pero la primera consiste en eliminar la mayor cantidad de agua contenida por el jugo, hasta llegar a un 15 a 20 por ciento de humedad; durante la concentración se acaba de eliminar hasta llevar la humedad a 8 - 10 por ciento y se da la formación de cristales de sacarosa y el crecimiento de estos cristales.

2.2.1. Clarificación. El objetivo principal de la clarificación, es eliminar la máxima cantidad de impurezas de los jugos, para tratar de convertirlos de verdes y lodosos en amarillos claros y brillantes. Del grado de clarificación y limpieza de los jugos va a depender principalmente, cuando se trabajan cañas de buena madurez, la calidad final del producto.

Los estudios realizados sobre clarificación para producción de azúcar, son de años relativamente recientes (1920) y para producción de panela son casi nulos.

La clarificación tomó importancia a partir de la introducción de variedades resistentes a la enfermedad virosa denominada mosaico, cuyos jugos son mucho más difíciles de clarificar que los jugos producidos por cañas nobles. Y es así como Davies citado por Spencer (16) menciona que, "con cañas nobles los resultados son excelentes, y es posible que hayan sobrepasado los que se obtienen en la actualidad con métodos complejos, control técnico superior y equipo mejorado para el tratamiento de los guarapos más difíciles que rinden las nuevas variedades".

Además en la clarificación para producción de azúcar que es donde

se han realizado mayor cantidad de estudios, todos estan de acuerdo en que no se sabe bien que es lo que ocurre en las reacciones que se suceden durante la clarificación y es así como Payne citado por Spencer (16) afirma:

"No es probable que los problemas de clarificación sean resueltos por la investigación de las condiciones, ni por las variantes de las condiciones. Es necesario que se efectúen los estudios de la actividad del ion calcio, de la distribución de los compuestos de fósforo, de los mecanismos de la reacción de la cal con las protef- nas, de la acción protectora de los coloides liofílicos y del papel de los microorganismos y de la substancias que ellos producen".

2.2.1.1. Composición de los no Azucares del Jugo.

El jugo que llega de los molinos al proceso de clarificación tiene una mezcla compleja de componentes que provienen de la caña y de las impurezas, adheridas a ésta, los cuales dependen de la variedad, época del año, practicas de cultivo entre otros.

Durante el proceso de clarificación se busca eliminar la mayor cantidad de estas substancias, las cuales se clasifican de acuerdo a su tamaño en:

- a) Material grueso disperso, tales como tierra, arena, partículas de bagazo y cera.
- b) Los coloides que incluyen los provenientes del suelo y de la caña, de los provenientes de esta última se tiene: ceras, grasas,

proteínas, gomas, pectinas y taninos y materiales colorantes.

Además, están los provenientes de la acción de los microorganismos.

- c) Las dispersiones iónicas y moleculares que incluyen las cenizas y algunas sustancias coloidales. En la tabla No. 8 se muestran los límites de composición de los no azúcares del jugo. Esta tabla es elaborada por Davies y citada por Honig (6).

Tabla No. 8 Composición de los no azúcares de jugo.

Constituyente	% no azúcares
A. Carbohidratos (dif de los azúcares)	
hemicelulosas y pentosanas	8.5
proteínas	1.5
B. Compuestos orgánicos nitrogenados	
proteínas superiores (albúmina)	7.0
proteínas simples (albuminosas y pectosas)	2.0
Aminoácidos (glicina, ácido aspártico)	9.5
Acidos orgánicos (dif de los amino)	
Aconítico, o xálico, glicólico, málico	1.30
Aminas ácidas (asporraguina, glutamina)	15,5
C. Materia colorante	
-clorofila, antocianinas, sacaretina, taninos	17.0
D. Ceras, grasas y jabones	
cera de la caña	17.0
E. Sales inorgánicas	
fosfatos, cloruros, sulfatos, silicatos, nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio, aluminio y hierro, principalmente	7.0
F. Sílice	2.0

2.2.1.2. Remoción de los no Azúcares del jugo

Para la remoción de los no azúcares se han utilizado principalmen

te desde tiempos muy remotos el calentamiento de los jugos y la cal. Sobre la utilización de la cal como agente clarificante, que surgió de la India donde existía en forma abundante, a pesar de los adelantos técnicos no se ha encontrado un producto que brinde resultados similares y sea tan de bajo costo.

El efecto del colado, calentamiento y encalado de los jugos, sobre la precipitación y remoción de los no azúcares, se presenta en una tabla elaborada por Honig (6) en ensayos realizados en diversos ingenios de Java (Tabla No. 9).

El uso de la cal está limitado por presencia de fósforo en el jugo, este varía entre 200 y 1000 mg jugo por litro, Honig (6), ya que cantidades excesivas de cal cuando los niveles de fósforo son extremadamente bajos, pueden traer efectos nocivos sobre la colaboración del jugo por sobre-alcalinización. La cal forma con el fósforo, fosfatos del calcio, que ocluyen las impurezas coloidales y las arrastran en el precipitado que se forma.

Se ha encontrado para cañas difíciles de clarificar (de jugos refractarios), que la adición de fosfatos ayuda a la clarificación y que niveles de fósforo de 300 mg por litro de jugo o superiores son los más adecuados para lograr una buena clarificación, Honig (6).

Las fuentes de fósforo utilizadas en la limpieza de los jugos son muy diversas y van desde el ácido fosfórico hasta el superfosfato triple, que se utiliza como fertilizante (haciendo una lechada don-

Tabla No. 9 Efecto del colado, calentamiento y encañado sobre los azúcares del jugo.

Tipo de no azúcares presentes en el jugo de los molinos	Efecto del colado	Efecto del calentamiento.	A un pH de 6.8-7.2 en el jugo clarificado
Bagacillo	Removible en alto grado	Ninguno, excepto que se elimina el aire, lo que previene el asentamiento del bagacillo	Ninguno
Arena	Removible	Ninguno	Ninguno
Arcilla	Parcialmente removible	Ninguno	Ninguno
Materia cerosa: cera de la caña	Parcialmente removible adherida al bagacillo	Puede emulsionarse	Son adsorbidos con los azúcares
Fosfátidos	Se remueve una pequeña cantidad	Puede emulsionarse	precipitados
No-azúcares proteínicos	Se remueve una pequeña cantidad	Coagulan y se vuelven separables	Se precipitan y se separan con los no-azúcares inorgánicos precipitados
CaO	Ninguno	Ninguno	Se incrementa por la lecheada cal añadida, combinada con los ácidos orgánicos del jugo
MgO	Ninguno	Ninguno	Se precipita parcialmente con el P ₂ O ₅
Fe ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃	Ninguno	Se precipita parcialmente con el SiO ₂	Se precipita parcialmente
P ₂ O ₅	Ninguno	Ninguno	Se precipita parcialmente como fosfato de Ca-Mg
SiO ₂	Ninguno	Se precipita parcialmente en combinación con los sesquióxidos	Es adsorbido por el fosfato de Ca-Mg y por los sesquióxidos

de se disuelve el superfosfato, dejándola decantar y utilizando la parte de la lechada que sobrenada).

También se ha utilizado superfosfato simple y fosfato dicalcico, que además contiene un 35% de cal y por su fineza es soluble en jugo. 1

Además para producción de panela, se ha estado promoviendo últimamente el clarifos que es un fosfato monicalcico, en dosis de 800 a 1.000 gr por 1.000 kilos de jugo, Diaz. (5).

Lo más importante de las anteriores fuentes de fósforo es que esten libres de arsénico y plomo por los problemas de toxicidad que se pueden presentar. Para el Reino Unido el límite permitido para arsénico es de 1.4 ppm como AS_2O_3 , Honig (6).

Además del fósforo se utilizan en la clarificación de jugos para azúcares, los carbonatos, el anhídrido sulfuroso entre otros, y últimamente se estan utilizando los polimeros de elevado peso molecular. Estos últimos, forman precipitados que arrastran la partícula que se encuentran en la solución. al fondo del recipiente cuando se utilizan en dosis de 5 ppm, pero cuando se utilizan en dosis de 0.5 a 1 ppm, el precipitado formado avanza hacia la superficie del líquido sobrenadando.

Es necesario realizar mayor número de estudios para conocer que productos de estos, que son utilizados en la fabricación de azúcar, podrían ser usados en la fabricación de panela, teniendo en cuenta la capacidad técnica y económica de los productores de panela.

1 En la clarificación de jugo de caña para elaboración de panela, se utiliza principalmente la cal (en algunas regiones del país) en dosis cercanas a los 800 gramos por cada 1.000 litros de jugo y sustancias mucilaginosas que provienen de plantas tales como el guásimo (Guazuma ulmifolia Lam), balso (Ochroma lagopus Sw), cadillo (Triumfeta sp), escoba - babosa (Sida glutinosa com); la mejor temperatura para agregar estas sustancias, con las cuales se hacen manojos que se maceran, esta entre 52 y 62°C, Ramos (15) y el pH óptimo esta comprendido entre 5.2 y 6.2 con un óptimo de 5.8. Parece que el efecto de estas sustancias es el de ocluir las impurezas para arrastrarlas hacia la superficie del líquido de donde son retiradas en forma manual.

2.2.1.3. Influencia de la Clarificación sobre el Contenido de Metales de la Panela.

En la tabla No. 10 se muestra la influencia que tiene la clarificación sobre los metales y la grasa en el jugo para producción de panela. En algunos metales se nota el aumento o similar cantidad en el jugo descachazado y en el no clarificado, a pesar de advertirse su presencia en la cachaza. Esto se explica por haberse tomado las muestras tiempo después de terminarse la clarificación, con el jugo en ebullición y por tanto más concentrado por haberse evaporado agua.

2.2.1.4. Efecto del Nitrógeno sobre la Calidad de la Panela

La tabla No. 11 presenta el efecto de la clarificación sobre el contenido de nitrógeno proteico correspondiente a muestras de dos regiones diferentes que producen panelas de apariencia diferente. Obser-

TABLA 10

INFLUENCIA DE LA CLARIFICACION EN EL CONTENIDO
DE METALES EN LA PANELA

	K	Mg	Ca	Na	Fe	Co	Zn	Mn	Cu	Grasa %
JUGO	77.8	10.1	8.4	4.0	1.2	1.0	1.0	0.5	0.4	0.09
JUGO DESCACHAZADO	68.5	11.1	17.1	2.9	1.6	1.9	1.0	0.5	0.3	—
CACHAZA	75.3	40.8	67.4	5.6	10.2	1.6	3.7	2.1	1.6	2.6
PANELA	206.0	44.2	64.8	91.0	2.1	1.5	5.0	1.3	1.0	0.028

NOTA: Muestras tomadas en la región de Villota, (Cundinamarca)

TABLA II

EFFECTO DE LA CLARIFICACION SOBRE EL CONTENIDO DE NITROGENO
X 6.25 EN LA PANELA (Gms %)

B Región: Villota (Cundinamarca.)

JUGO	JUGO DESCACHAZADO	CACHAZA	PANELA
0.17	0.10	5.03	0.33

A Región: Piedecuesta (Santander.)

JUGO	JUGO DESCACHAZADO	CACHAZA	PANELA
0.33	0.24	1.75	0.70

Estos dos regiones rindieron panela de diferente calidad. La región A
dió una panela de buen color y consistencia, no así en la región B.
Nótese el contenido de N x 6.25 en las panelas de las dos regiones.

vandose para la región A, el jugo inicial contenía menor cantidad de nitrógeno, se eliminó en mayor porcentaje en la cachaza, presentándose en menor proporción en la panela que en la de la región B; siendo de mejor calidad aparente la de la región A. Los resultados de la tabla corroboran la literatura que afirma que cañas sembrada en suelos virgenes y con alto contenido de materia orgánica producen jugos de difícil clarificación y panela de mala calidad. Similares resultados se obtienen cuando las aplicaciones de nitrógeno se realizan en forma tardía o el contenido de potasio del suelo es bajo, ya que este elemento ayuda a utilizar los remanentes de nitrógeno por la planta.

2.2.1.5. Composición de la Cachaza

En la tabla No. 12 se presenta la composición de la cachaza en muestras tomadas en trapiches de la región de Piedecuesta (Santander). Como se observa en la tabla el contenido de sacarosa es bastante alta (8%) correspondiente a un 3% de la sacarosa total contenida por la caña (Fig. 6).

En algunas Regiones, la cachaza (que se utiliza comunmente como alimento para animales el mismo día), se acaba de cocinar en una paila que esta colocada cerca a la chimenea de la hornilla, donde se deshidrata y toma una consistencia gelatinosa, pudiendo ser utilizada en la alimentación de animales en los días siguientes a la finalización de la molienda.

2.2.1.6. Productos utilizados para Mejorar la Apariencia de la Panela

Existen productos que se utilizan para mejorar la apariencia final

ESTADÍSTICA AGRICOLA
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA

TABLA 12
Composicion
de la
Cachaza

<i>Comp.</i>	<i>Cachaza</i>	
<i>N</i>	<i>1.75</i>	<i>%</i>
<i>K</i>	<i>75.3</i>	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{mg} / 100 \text{gr.}$
<i>Mg</i>	<i>40.8</i>	
<i>Ca</i>	<i>67.4</i>	
<i>Na</i>	<i>5.6</i>	
<i>Fe</i>	<i>10.2</i>	
<i>Co</i>	<i>1.6</i>	
<i>Zn</i>	<i>3.7</i>	
<i>Mn</i>	<i>2.1</i>	
<i>Cu</i>	<i>1.6</i>	
<i>Grasa</i>	<i>2.6</i>	
<i>SAPONIF.</i>	<i>8.0</i>	<i>%</i>
<i>Ac. Lipo.</i>	<i>0.38</i>	<i>%</i>

ESTADÍSTICA AGRICOLA
IN COLOMBIA

de la panela, generalmente son decolorantes y colorantes.

Entre los decolorantes se utiliza principalmente el clarol (hidro ó hiposulfito de sodio), el cual tiene como función principal blanquear la panela.

Honig (6) dice que este producto se utiliza bastante para la producción de azúcar sulfitado, bajo el nombre comercial de Blankite y es agregado en los tachos en dosis de 100 - 150 ppm. El efecto del clarol o Blankite se debe a que es fuertemente reductor, pero el problema que tiene este producto es que es susceptible a reoxidarse en presencia de oxígeno y por tanto recuperar la panela ó azúcar el color original.

Como colorante se utiliza anilina, generalmente color naranja. No existe ningún problema cuando son de origen vegetal; pero la mayoría de las anilinas utilizadas son minerales, que son fabricados para ser usadas en la industria textil y no en productos destinados al consumo y se ha comprobado que los constituyentes de estas anilinas pueden ser cancerígenos. Por tanto como las anilinas no intervienen en la calidad nutritiva final de la panela, lo mejor es eliminarlos de la fabricación de ésta.

Para obtener panela de buena calidad es necesario moler caña de buena madurez dentro de las 24 horas siguientes después del corte, procurar una gran limpieza del molino y de las pailas, así como tratar de eliminar la mayor cantidad de impurezas de la caña, tales como, tierra, arena y extraer la cachaza completamente. Además la caña debe ser cortada al nivel más bajo posible en la parte superior,

para eliminar la mayor cantidad de azúcares reductores, aminoácidos, proteínas y almidones entre otros que se encuentran en la parte terminal del tallo de la caña.

2.2.2. Evaporación y concentración de los Jugos

La evaporación y concentración de los jugos tienen por objeto eliminar el agua presente en el jugo y obtener el crecimiento de los cristales de sacarosa y su compactación; para esto último es necesaria la presencia de azúcares reductores (4-6 por ciento para panela de buena calidad).

Durante el proceso de evaporación y concentración de los jugos, se presente una serie de cambios en las propiedades físicoquímicas de el jugo a medida que este se va concentrando. Se describirán estos cambios a continuación, para algunas de las propiedades más importantes:

2.2.2.1. Temperatura de Ebullición del Jugo

La temperatura de ebullición del jugo depende principalmente de la presión barométrica del lugar y de la concentración de sólidos totales en la solución de jugo.

La Tabla No. 13 que es cortesía de los tecnólogos azucareros de Hawai y citada por Spencer (16), muestra los diferentes puntos de ebullición para soluciones de jugo con diferentes concentraciones (sólidos solubles, en la solución) y para varias purezas del jugo. La tabla esta calculada a 760 mm de presión o sea a nivel del mar, siendo necesario, hacer las correcciones para diferentes alturas sobre el nivel del mar, ya que a medida que ésta aumenta, el punto de ebullición se

obtiene a menor temperatura.

Tabla No. 13 Elevación del punto de ebullición para el jugo de caña.

Sólidos Totales	100	90	80	70
	ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION			
92	20.5	22.0	23.0	24.0
90	19.0	20.0	21.0	22.5
85	13.0	14.0	14.5	15.5
80	9.0	10.0	10.5	11.0
75	6.5	7.0	7.5	8.0
70	5.0	5.5	6.0	6.5
65	4.0	4.0	4.5	5.0
60	3.0	3.0	3.5	4.0
55	2.0	2.5	3.0	3.0
50	2.0	2.0	2.0	2.5
40	1.0	1.0	1.5	1.5
30	0.5	1.0	1.0	1.0

La pureza de los jugos obtenidos en los molinos para producción de panela, oscila entre 88 y 91 por ciento; entendiéndose por pureza, la cantidad de sacarosa, sobre la cantidad de sólidos totales, multiplicada por 100.

2.2.2.2. Densidad.- La densidad de los jugos durante el proceso de evaporación y concentración va cambiando a medida que transcurre el proceso y pasa de 1.07 gr/cc (19°Brix) en el jugo sin clarificar a 1.45 - 1.47 gr/cc (85-89°Brix) para la panela.

La densidad se relaciona directamente con la temperatura como se observa en la tabla No. 13 y en ensayos realizados en Piedecuesta, Santander se encontró que el punto de ebullición del jugo inicial se obtenía a

98.5°C para un contenido de sólidos solubles de 180°Brix y que la panela se obtenía cuando el punto de ebullición era 120 - 121°C. Símila res resultados se obtuvieron en Sasaima, Cundinamarca. La humedad del jugo cambia durante la evaporación y concentración de 80-82% a 10-12%. Diagrama de flujo, Figura 6.

2.2.2.3. pH. El pH que determina la acidez de los jugos, varía generalmente entre 5.2 y 5.6; si durante la clarificación, se agrega cal para elevar el pH a determinado nivel, después de la clarificación este pH desciende; por tanto, para obtener el nivel deseado, es necesario elevarlo inicialmente un poco más, Honig (6). Durante la evaporación, la concentración el pH descende; a medida que el pH sea menor hay mayor transformación de sacarosa a azúcares reductores. El pH óptimo de los jugos, para evitar esta inversión y la sobrealcalinización debe estar comprendido entre 6.5 y 7.0.

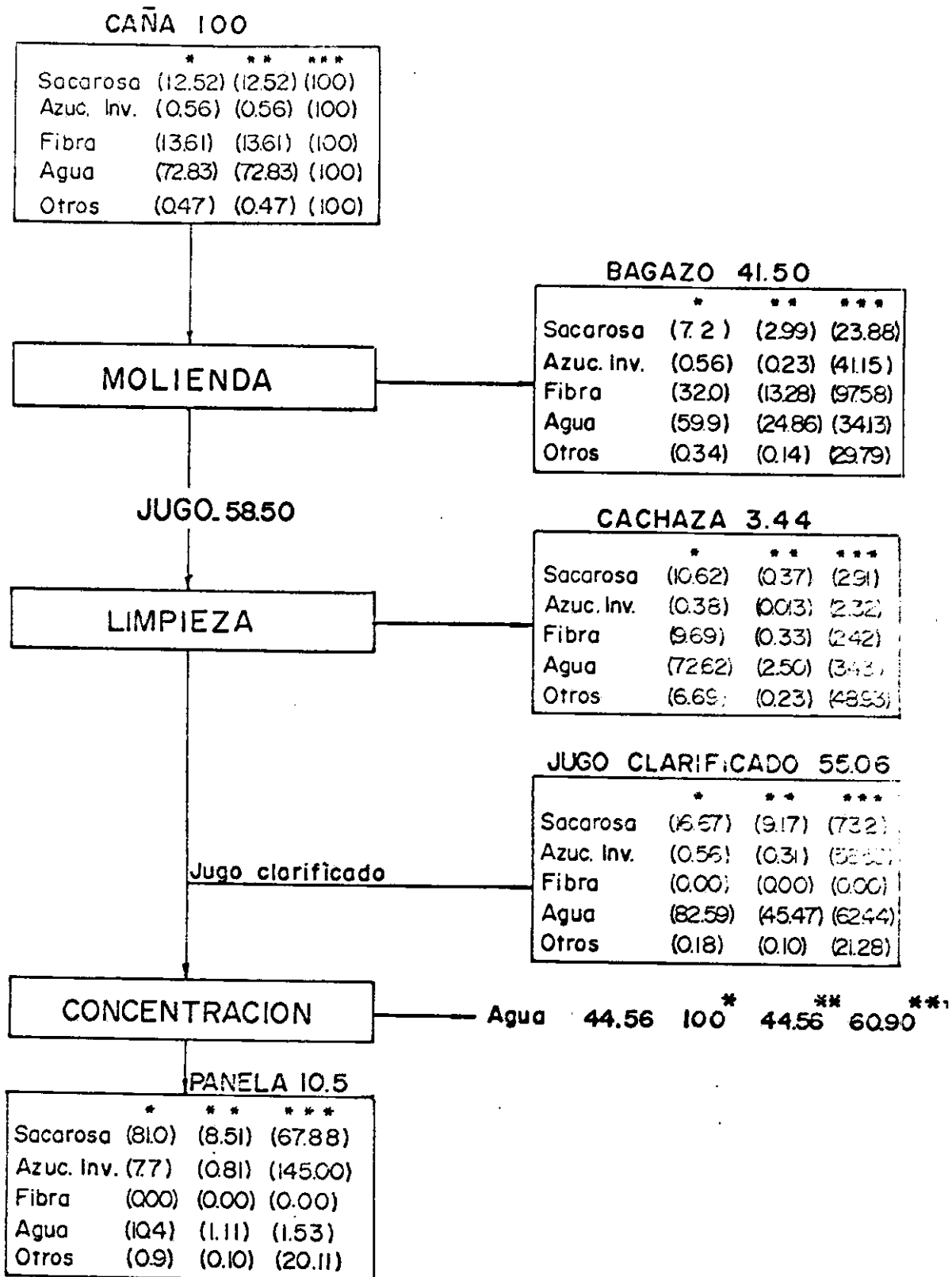
2.3. Balance de Materiales durante el proceso de Elaboración de Panela

El presente balance de materiales se hace en base a un estudio realizado en Piedecuesta, Santander, donde se molió caña después de diferentes días de corte, en un molino Penagos No. 10 accionado por una rueda hidráulica. En él se pretende mostrar la distribución de los productos de la caña durante el proceso y el efecto del retraso de la caña después del corte, en la producción de panela. Los datos están indicados en peso y en porcentaje (Tabla No. 14). Tomando como base los datos de la caña molida después de un día de corte y los resultados de los análisis químicos de los diferentes subproductos de la caña,

TABLA 14
BALANCE DE MATERIALES

<i>Días de Permanencia</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>
<i>Peso de caña el día de corte</i>	5.350	2.708.3	4.852
<i>Peso de caña Procesada</i>	5.350	2.600	4.489
<i>% de Perdidas en Peso por Almacenam.</i>	0	4.0	7.48
<i>Peso de Jugo Extraído</i>	3.107.9	1.416.55	2.509
<i>% en Peso de Extracción de Jugo</i>	58.09	52.30	51.71
<i>Peso de Bagazo Producido</i>	2.242.1	1.183.45	1.980
<i>% en Peso de Bagazo</i>	41.91	43.7	40.81
<i>Peso de Panela Producida</i>	547.13	266.22	475.49
<i>% en Peso de Producción Panela</i>	10.23	9.83	9.8
<i>Peso de Cachaza Obtenida</i>	184.3	72.25	179.8
<i>% en Peso de Cachaza</i>	3.44	2.67	3.71
<i>Peso de Agua Evaporada</i>	2.376,77	—	1.853,71
<i>*% en Peso de Agua Evaporada.</i>	76.46	—	73.88

* Estos % son obtenidos respecto al peso de jugo procesado. Los demás son obtenidos respecto al peso de la caña el día de corte.



*... resultados obtenidos por 100% de la muestra
 **... distribución de los componentes de la caña en los diferentes subproductos, en peso
 ***... similar al anterior pero en porcentaje.

Figura Nº 6 Balance de materiales en el proceso de elaboración de la panela.

ELABORACIÓN DE LA PANELA

DE CAÑA

se elaboró un diagrama de flujo donde se puede observar la distribución de los principales componentes de la caña (sacarosa, azúcares invertidos, fibra, agua y algunos elementos que entran en menor proporción y que para el diagrama se denominan otros), durante el proceso de elaboración de panela. (Fig. No. 6).

De acuerdo al diagrama de flujo las pérdidas de sacarosa se presentan en: a) Molienda, donde en el bagazo se pierde el 23.88 por ciento de la sacarosa contenida por la caña; b) En la cachaza se pierde el 2.91%; c) Durante el proceso se invierte cerca del 5% de la sacarosa en azúcares reductores. Estos azúcares reductores son importantes porque, son los que permiten la compactación de los cristales de sacarosa en la panela y si estos no existiesen o estuviesen en proporción muy baja 0.5 a 1 por ciento, los cristales no se unirían (caso del azúcar); pero cuando entran en proporciones mayores del 5 ó 6 por ciento, la calidad de la panela va disminuyendo y cuando están en proporciones cercanas al 10 - 12 por ciento la panela se torna melcochuda o no compacta; este caso se presenta cuando se muelen cañas inmaduras ó después de varios días de corte y el contenido de azúcares invertidos del jugo sobrepasa al 2 ó 3 %.

En el diagrama la inversión de sacarosa, que no se considera como pérdida, se manifiesta en el porcentaje de azúcares reductores, de la panela que es el 145 por ciento de los de la caña.

En cuanto al agua que contiene la caña que es de 73.83 gramos por cada 100, durante la evaporación y concentración se pierde 44.36 ó sea el 60.90 por ciento y de 47.97 grs. de agua del jugo sin clarificar

44.36 grs. se pierden en la evaporación y clarificación o sea el 92.47 por ciento del agua del jugo.

De 58.50 grs. que pesa el jugo por 100 grs de caña, 3.44 gr se van en la cachaza y 10.5 son panela, 44.36 grs se evaporan. Se tiene que de 100 grs. de jugo el 76 por ciento es agua que se evapora durante el proceso.

En base al diágrama del flujo también se puede conocer la extracción de sacarosa, en este caso es del orden 76.12 por ciento (En base a Ec. 1), mientras la extracción en peso es del 58.50 por ciento.

La extracción reducida de Dèerr, que se analiza comparando la extracción como si la caña tuviese 12.5 por ciento de fibra, ecuación 2.

El guarapo absoluto se encuentra de la Ecuación 3, obteniendo un valor para extracción reducida de 78.35.

2.4. Hornillas Paneleras

La clarificación, evaporación y concentración de los jugos se realiza en estructuras denominadas hornillas donde van colocadas las pailas y los calderos. El tamaño de la hornilla y el número y tamaño de las pailas depende de la cantidad de caña a moler y panela a producir.

Existen hornillas de 1 y 2 pailas en los trapiches con molinos de tracción animal, que tienen producciones de 3 a 7 cargas de panela por semana, hasta aquellas que tienen dos y tres calderas y 6 a 8 pailas.

Estas últimas, en trapiches con molinos de tracción mecánica con mazas de 18 a 20" de diámetro y producciones de 40 - 60 cargas de panela en

jornadas de 18 a 24 horas diarias.

El mayor porcentaje de hornillas en cuanto a número correspondé a los pequeños productores; siembargo, el mayor porcentaje de producción de panela, esta dado por los medianos productores, donde existen molinos de tracción mecánica pequeños y medianos (del orden de 20 y 25 cm de diámetro de mazas) con hornillas de 1 ó 2 calderas y 4 ó 5 pailas, pa ra producciones de 30 a 70 cargas de panela semanales, en 4 ó 5 jornada de trabajo de 14 a 18 horas.

2.4.1.

Estructura

La estructura de la hornilla consta básicamente de un conducto, donde esta la cámara de combustión y por donde se conducen los gases que transmiten el calor a calderas y pailas. Este camino se reviste en ladrillo refractario ó adobe. La pendiente de dicho ducto puede oscilar entre 2 y 8 por ciento, siendo mejor un 4 por ciento.

A lo largo del conducto, se construyen los muros que soportan las calderas y pailas y en los espacios que quedan entre paila y paila, estan colocados los arcos que además de ayudar a sostener las pailas impiden el escape de los gases de la combustión. Colocada la última paila sigue un conducto de mayor pendiente (10 - 15%) que lle va los gases a la chimenea. Este aumento de pendiente permite un mayor tiro y hace que la altura de la chimenea no sea exagerada.

La chimenea se construye generalmente en ladrillo y su altura depende de la longitud de la hornilla, siendo de 1,6 a 10 metros para hornil

llas de 8 ó 10 pailas. De las dimensiones de la chimenea va a depender básicamente el buen funcionamiento de la hornilla, ya que chimeneas muy altas producen tiros que hacen que los gases circulen muy rápidamente y no alcancen a calentar los jugos en un tiempo prudencial. Por el contrario tiros muy bajos, traen como consecuencia el mal funcionamiento de la hornilla por escasez de aire para la combustión y por mala circulación.

La cámara de combustión esta colocada de_bajo de la primera paila ó caldera y el bagazo ó combustión quema sobre parrillas que son construídas en varillas de fundición o rieles de ferrocarril. El ancho de la cámara de combustión oscila entre .60 - 1.00 m y su longitud varía entre, .80 y 1,20 m, la distancia entre rieles o varilla generalmente es de 2.5 a 3.5 cm.

La diferencia entre pailas y calderas, estriba en la función a cumplir dentro del proceso; así, las calderas son destinadas a la clarificación y a la evaporación de parte del agua del jugo; y las pailas, a terminar la evaporación y realizar la concentración y punteo de los jugos. Sin embargo, existen hornillas donde solo tienen pailas para realizar todas las operaciones y no se ha delimitado bien la función de estos recipientes.

2.4.2. Materiales de Pailas y Calderas

Los materiales de construcción de pailas y calderas son principalmente cobre y aluminio, siendo las calderas de forma trapezoidal y construídos en lámina de 2 mm para la parte que va expuesta al fuego y

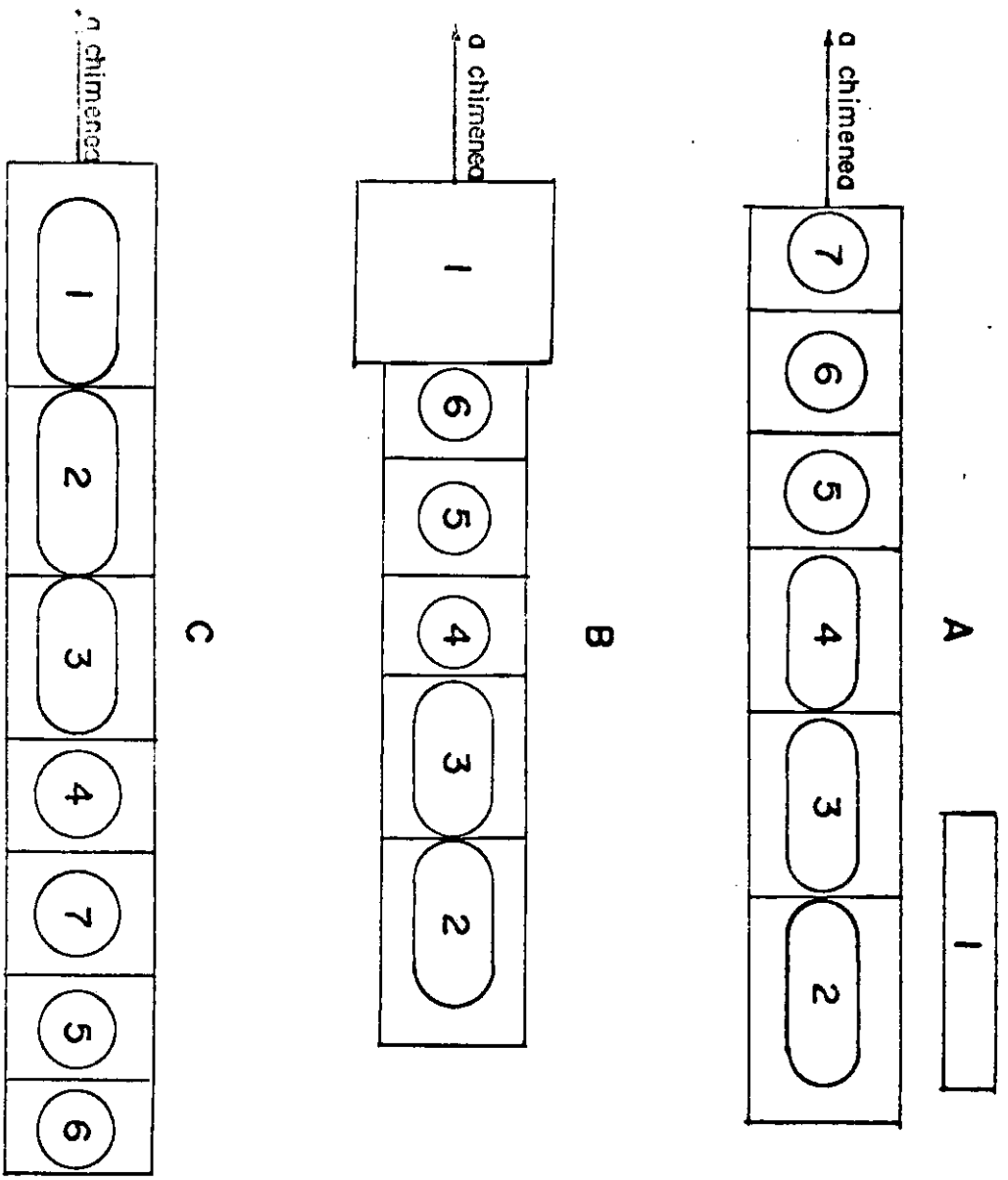


FIGURA 7. — Diferentes sistemas de operación en Hornillos

terminada en la lámina de 1 mm para la parte exterior y que se denomina falca.

Las pailas son de forma semiesférica construídas en material de 5 a 6 mm de espesor, para la parte expuesta al fuego y en lámina de 1 mm para la falca. La parte inferior es semiesférica y la superior es un tronco de cono. Tanto en las calderas como en las pailas, la falca se une con la parte expuesta al fuego, con remaches que son de cobre y aluminio. Hay una paila que siempre se construye en cobre, es la punteadora, o sea donde se dá el punto final a la panela.

Las ventajas del cobre sobre el aluminio son: mayor duración y se afirma que en pailas construídas en cobre se puede obtener panela de mejor calidad, su desventaja es el costo.

2.4.3. Sistemas de Operación

Sobre la ubicación de las pailas y calderas en la hornilla, no existe una norma definida y es así como existen hornillas donde las calderas se colocan sobre la cámara de combustión, siguiendo el orden del proceso y colocando la paila punteadora cerca de la chimenea, el pozuelo no está ubicado en la hornilla, Figura 7.(A).

Otro flujo es en forma similar al anterior pero el pozuelo se encuentra incorporado en la hornilla, Figura 7 (B).

En la mayoría de las hornillas no siguen un orden de proceso en ninguno de los dos sentidos, por ejemplo, colocan las calderas bien cerca de la chimenea, o sobre la cámara de combustión, en esta desca

chazan y pasan el jugo a la siguiente cáldera, para pasarlo luego al otro extremo de la hornilla donde concentran y el temple o punteo de la panela lo hacen en la paila central que puede ser la 3 ó 4 dependiendo del número de pailas, Figura 7 (C).

Sin embargo, conociéndose que la mayor cantidad de energía se gasta durante el calentamiento y en la evaporación del agua de los jugos y que la temperatura más alta de la llama se logra en los dos tercios de su longitud, se recomienda seguir un proceso de flujo continuo a partir de la cámara de combustión y dar el temple de la panela en la última paila. Al seguir lo anterior, no sería necesario apagar ó disminuir la llama cuando se le está dando punto a la panela o cuando se está descachazando. Además, construir el mayor número de calderas ya que estas por su forma tienen mayor área de exposición al fuego,

2.4.4. Elementos Complementarios para el Proceso

Complementario a la hornilla y molino existen otras estructuras, estas son: pozuelos, gaveras, bateas, mesas de enfriamiento de la panela, y cachaceras.

Los pozuelos son utilizados para almacenar el jugo proveniente del molino, hasta desocupar la caldera donde son enviados una vez avanza el proceso y se disponga de un volumen suficiente para iniciar el proceso de clarificación. Generalmente se construyen en ladrillo y cemento cuando se colocan cerca del molino y en lámina cuando están colocados sobre la hornilla.

~~INDUSTRIA AZUCARERA~~

El segundo sistema se prefiere ya que se están aprovechando los gases que van con destino a la chimenea y permiten ahorrar energía que se tiene que gastar para elevar la temperatura del jugo.

Las bateas se utilizan para batir la panela, meciéndola fuertemente por medio de palas de madera similares a remos, con lo cual la masa absorbe aire que ayuda a cristalizar la sacarosa y dar consistencia compacta a la panela. Cuando se saca la masa, se lleva a las gaveras donde se distribuye uniformemente, se deja enfriar y toma la forma definitiva.

La gavera es una unidad compuesta de celdas rectangulares desarmables construídas en listones de maderas de 2.5 cm de ancho y 3.5 a 4 cm de alto. Las dimensiones de cada celda que son las que determinan las de la panela, son generalmente 9 x 7.5 x 3.5 cm, pero estas dimensiones varían para las diferentes regiones y aún para productores de la misma región.

También se construye panela semiesférica, la cual se hace en forma individual con el mismo recipiente y se amarra en atados de dos panelas para constituir un bulto de 100 panelas. La panela rectangular se empaca en bultos de 96 panelas.

2.5. Combustibles

2.5.1. Bagazo

De acuerdo al diagrama de flujo de la figura 6, la composición del bagazo en el momento de salir del molino es: sacarosa 7.2 por ciento, azúcares invertidos 0.56, fibra 32.0 por ciento, otros 0.34 por

ciento,(otros 0.34 por ciento)y humedad 59,9 por ciento. El bagazo corresponde en relación al peso de la caña entre un 40 a 50 por ciento y generalmente es la principal fuente de energía utilizada para evaporar y concentrar los jugos.

Según Spencer (16), el poder calorífico varía para bagazos de todo el mundo entre 8200 y 8400 Btu por libra, el promedio es 8350 Btu/libra (4640 cal/gr). Generalmente el valor calorífico del bagazo depende de sus componentes, principalmente de la humedad. López F (9), afirma que el poder calorífico viene dado por la siguiente ecuación Btu/libra.

$$= \frac{8550 (\% F) + 7028 (\% S) + 6.750, (\% G) - 970,4 (\% H)}{100} \quad \text{Ec.10}$$

donde:

F = fibra del bagazo

S = sacarosa del bagazo

G = Glucosa del bagazo

H = Humedad

Un Btu/libra es equivalente a 1.8 Kcal/kg.

Sin embargo, en los trapiches colombianos la mayor parte del poder calorífico del bagazo proveniente de la sacarosa y la glucosa se pierden por la forma de secado (grandes arrumes con poca ventilación) ya que estos componentes sufren reacciones donde se descomponen por acción de los microorganismos y de las enzimas presentes en el baga-

zo. A esto, se debe los calentamientos que se presentan en los arrumes del bagazo que alcanzan temperaturas de 60 a 70°C.

El efecto de la humedad sobre el poder calorífico del bagazo, estriba en que es un componentes del bagazo que además de disminuir el porcentaje de los otros componentes, requiere de energía para su evaporación.

En la Figura 10, se muestra el efecto de la humedad sobre el poder calorífico, en ensayos realizados en Piedecuesta, Santander, Leon (8). Para llevar la humedad de 60 a 15 ó 20 por ciento son necesarios de 15 a 25 días en la forma que se está realizando actualmente y es uno de los limitantes para la realización de moliendas en forma continúa.

2.5.2. Leña y Caucho

En la mayoría de hornillas, debido a las dificultades de secar el bagazo emplean otros combustibles como la leña, caucho, cañabraba, cascarilla de arroz y basuras. El uso de estos combustibles trae consigo un costo adicional en el proceso, pero las dificultades para disponer de bagazo seco obligan a la adquisición de estos materiales.

En ensayos realizados en Piedecuesta (Santander) y Villeta (Cundinamarca) se encontró que la temperatura de los gases al iniciar su salida por la chimenea, eran de 300°C. cuando se alimentaba la hornilla con bagazo solamente, la adición de leña elevó esta temperatura a 500°C y con caucho a 700°C.

2.5.3. Bagacera

El bagazo que sale del molino a un contenido de humedad de 55 a 60

por ciento, se almacena en una estructura abierta pero cubierta en las mismas instalaciones del trapiche generalmente. Allí permanece el bagazo por un período de 15 a 20 días, antes de ser usado como combustible. Sin embargo, por la distribución de este bagazo en la mayoría de los casos, la pérdida de humedad no es satisfactoria, ya que al efectuarse en arrumes con alturas hasta 4 metros, es muy difícil obtener aireación en las partes centrales de la masa.

Experimentalmente no se ha encontrado la altura más recomendable, sin embargo dos metros es aceptable. En relación al área necesaria para almacenar bagazo, se tiene que un 60 por ciento de la construcción es aconsejable para almacenar bagazo. Otra guía para almacenar bagazo es con relación a su peso volumétrico el cual es de 150 a 200 kgs por m^3 , para bagazo con 50 a 60 por ciento de humedad. Además se conoce que 1 tonelada de caña produce entre 400 y 450 kgs. de bagazo.

B I B L I O G R A F I A

1. BAINER, R., Kepner, R.A. and Barger, E.L. 1965 Principles of form machinery. John Wiley and Sons, Inc. New York. 571 p.
2. BLACK, P.H., and Adams, O.E., 1968. Machine Design 3a. Edition Mc Graw-Hill Book Company New York 678 p.
3. BUENAVENTURA, O.C., y Cardona, C., 1976. Evaluación Crítica de la Tecnología Generada en el Cultivo de Caña para Panela en Colombia. Bogotá. Rev. ICA, 11 (1): 45-56.
4. COLOMBIA. Ministerio de Agricultura. Oficina de Planeamiento del Sector Agropecuario. 1975. Caña Panela In. Programas Agrícolas; Evaluación 1974, Programación 1975, Proyecciones 1976. pp 70-76.
5. DIAZ, D.D., 1976 Fabricación de la Panela IN Curso sobre Producción de Caña Panelera. Medellín. Instituto Colombiano Agropecuario pp 78-107.
6. HONIG, P., 1969. Principios de Tecnología Azucarera, Trad. Esparza, D.J.L., 1a. ed. esp. Compañía editorial Continental S.A. México. 645 p.

7. HUCOT. E. 1964. Manual para Ingenieros Azucareros. Trad. Ruiz, C.C., 2a. ed. esp. Compañía Editorial Continental S.A. México 804 p.
8. LEON U., Méndoza A., y Porras L.E. 1976. Efecto del Ajuste, Velocidad y Diámetro de Mazas en la Eficiencia del Molino Panelero. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 134 p. (Tesis mim. Ing. Mecánico).
9. LOPEZ, F.A. 1948. Manual Practico de Fabricación de Azúcar de Caña Mieles y Siropes invertidos con su control técnico-químico 2a. ed. Cultural, S.A. Habana. 511 p.
10. MARKS, L.S., y Baumeister, T. 1958. Standard Handbook for mechanical Engineers. 7. edit. Mc. Graw-Hill Book Company. New York pp. 8.72.- 8.77.
11. MITTAL, B.L. 1962. Comparison of Milling Efficiency of Different Mill Tandems. Proceedings of the Eleventh Congress of the Internacional Society of Sugar Cane Technologists. Mauritius pp 1046 - 1052.
12. MURRY, C.R. y Holt, J.E. 1962. Experimental Determinations of the Pressure at a point on a roll surface. Proceedings of the Eleventh Congress of the international Society of Sugar Cane Technologists. Mauritius. pp 1063 - 1086.
13. PARES, J.M., 1974. Manual del Instalador de Motores Eléctricos Ediciones CEAC, S.A. Barcelona, 224 p.

14. QUIÑONES, B., y QUINTERO, W., S.F. Trapiches In Curso de Caña de Azúcar en Ladera. Instituto Colombiano Agropecuario pp 178 - 226.
15. RAMOS N.G. 1970. Panela y Trapiches. Medellín, Secretaría de Agricultura de Antioquia, 55p (Boletín informativo).
16. SPENCER, G. y Meade G. 1967, Manual del Azúcar de Caña. Trad. Menoca L.M. 6., Montoner y Simon,S.A. Barcelona 940 p.
17. ZAISS, J.J. 1965. Flat Belts. Cleveland. Jour Design 37 (14), 14 - 17.

REVISTA AGROPECUARIA